

«КАЗАНСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ИНСТИТУТ ЭКОНОМИКИ И ФИНАНСОВ
Кафедра статистики, эконометрики и естествознания

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

по дисциплине

**«Концепции современного
естествознания»**

для студентов, обучающихся по направлениям

080100.62 «Экономика»

080200.62 «Менеджмент»

Казань 2012

Составители:

к.т.н., доцент **Мухаметгалеев Д.М.**

к.х.н., доцент КНИТУ(КХТИ) **Сафина Л.Р.**

к.х.н., преподаватель Казанской

банковской школы **Косачева Э.М.**

преподаватель шк.№15 **Филлипова Г.В.**

Рецензент:

д.т.н., профессор **Азимов Ю.И.**

Учебное пособие обсуждено на заседании кафедры статистики, эконометрики и естествознания 24.06.11, протокол № 11.

Содержание

Введение	4
1. Пространство, время, симметрия.....	5
2. Теория относительности	10
3. Фундаментальные (гравитационные) взаимодействия	14
4. Фундаментальные (электромагнитные) взаимодействия	20
5. Порядок и беспорядок в природе (основы термодинамики)	30
6. Порядок и беспорядок в природе (дуализм микрочастиц)	37
7. Организация материи на химическом уровне	41
8. Симметрия и законы сохранения (макроскопические процессы).....	55
9. Особенности биологического уровня организации материи. Генетика и эволюция (биологические процессы).....	73
10. Принципы целостности и системности в естествознании. Элементы космологии	88
11. Справочные данные	94

Введение

Данное учебное пособие по КСЕ подготовлено в целях приобретения студентами теоретических знаний и практических навыков по количественной характеристике явлений природы. Большое внимание уделено решению задач по расчёту энергии, энтропии, пространственно-временных координат, корпускулярных и континуальных параметров процесса движения.

В пособии представлен материал по следующим темам учебной дисциплины «Концепции современного естествознания»: «Пространство и время»; «Теория относительности»; «Фундаментальные взаимодействия»; «Организация материи на химическом уровне (Химические концепции естествознания)»; «Корпускулярная и континуальная концепции описания природы»; «Динамические и статистические закономерности в природе»; «Законы сохранения энергии в макроскопических процессах»; «Особенности биологического уровня организации материи», «Принципы целостности и системности в естествознании (Космология)».

Каждый тематический раздел учебного пособия содержит общие сведения, необходимые для выполнения расчетов студентами; примеры решения задач с использованием предложенных формул; аналоговые задачи для самостоятельного решения. При решении задач необходимо придерживаться определенного порядка:

1. Установить основные законы, относящиеся к рассматриваемой задаче;
2. Найти решение в общем виде;
3. Подставить численные значения данных в одной и той же системе единиц измерения. Наряду с основными единицами Международной системы применяются некоторые внесистемные единицы, поэтому в некоторых условиях задач численные данные не всегда приведены в единицах СИ.

В пособии имеются необходимые справочные данные и таблицы перевода внесистемных единиц в единицы международной системы «СИ», что облегчит решение поставленных перед студентом задач.

1. Пространство, время, симметрия

1.1. Общие сведения

Движение тел со скоростью значительно меньшей скорости света принято называть нерелятивистским. Оно описывается законами классической механики.

Мгновенная скорость прямолинейного движения равна отношению приращения расстояния к приращению времени:

$$v = ds / dt.$$

его средняя скорость:

$$\langle v \rangle = s / t = \text{const.}$$

Ускорение прямолинейного движения по определению равно:

$$a = dv / dt = d^2s / dt^2;$$

причем его среднее ускорение;

$$\langle a \rangle = (v - v_0) / t,$$

где v_0 – скорость в начальный момент времени.

В случае прямолинейного равномерного движения имеем следующие уравнения:

$$s = v_0 t + at^2/2, v = v_0 + at, a = \text{const.}$$

Ускорение (a) в этих уравнениях положительно при равноускоренном движении и отрицательно при равнозамедленном.

Скорость сложного движения равна векторной сумме скоростей слагаемых движений:

$$v = \sum v_i (i = 1 \text{ до } n).$$

При криволинейном движении полное ускорение:

$$a = \sqrt{a_t^2 + a_n^2},$$

где a_t – тангенциальное ускорение; a_n – нормальное (центростремительное) ускорение, причем

$$a_t = dv / dt; a_n = v^2 / R,$$

где R – радиус кривизны траектории в данной точке.

При вращательном движении угловая скорость

$$\omega = d\varphi / dt,$$

угловое ускорение $\varepsilon = d\omega / dt = d^2\varphi / dt^2$.

В случае равномерного вращательного движения угловая скорость

$$\omega = \varphi / t = 2\pi / T = 2\pi\nu,$$

где T – период вращения; ν – частота вращения, т.е. число оборотов в единицу времени.

Угловая скорость ω связана с линейной скоростью v соотношением

$$v = \omega R.$$

Тангенциальное и нормальное ускорение при вращательном движении определяются соответственно формулами:

$$a_t = \varepsilon R, a_n = \omega^2 R.$$

Основной закон динамики (второй закон Ньютона) выражается уравнением

$$F dt = d(mv).$$

Если масса постоянна, то

$$F = m(dv / dt) = ma,$$

где a – ускорение, приобретенное телом массы m под действием силы F .

Обычно учитывается результирующая сила, которая определяется по правилу сложения векторов: $F = \sum F_i (i = 1 \text{ до } n)$.

Сила трения скольжения $F = k F_n$, где k – коэффициент трения; F_n – нормальная составляющая силы, действующей на поверхность, по которой скользит тело.

Центростремительная сила, действующая на тело, движущееся по кривой, $F_{\text{ц}} = mv^2 / R$, где m – масса тела, v – его скорость, R – радиус кривизны траектории.

1.2. Примеры решения задач

Задача 1.2.1 Пассажир, сидящий у окна поезда, идущего со скоростью $v_1 = 72$ км/ч, видит встречный поезд, идущий со скоростью $v_2 = 31,4$ км/ч, в течение 10 с. Определите длину встречного поезда.

Решение: Встречный поезд по отношению к пассажиру движется со

скоростью $v = v_1 + v_2$.

Длина поезда $l = (v_1 + v_2) / t$.

Переведем скорости в м/с : $v_1 = 72/3,6 = 20$ м/с; $v_2 = 31,4/3,6 = 9$ м/с.

Тогда $l = (20 \text{ м/с} + 9 \text{ м/с})10 \text{ с} = 290 \text{ м}$.

Задача 1.2.2. Автомобиль, имея скорость $v_0 = 70$ км/ч, стал двигаться равнозамедленно и через 10 с снизил скорость до $v = 52$ км/ч. С каким ускорением двигался автомобиль на данном участке? Какое он при этом прошел расстояние?

Решение: Переведем скорости в м/с: $v_0 = 70/3,6$ м/с; $v = 52/3,6$ м/с.

Ускорение автомобиля находим по формуле:

$$a = (v - v_0) / t; a = (52/3,6 \text{ м/с} - 70/3,6 \text{ м/с}) / 10 \text{ с} \approx -0,6 \text{ м/с}^2.$$

Ускорение автомобиля отрицательно, так как движение автомобиля замедляется.

Пройденный путь $s = \langle v \rangle t = t \cdot (v_0 + v) / 2$,

$$s = 10 \text{ с} \cdot (70/3,6 \text{ м/с} + 52/3,6 \text{ м/с}) / 2 \approx 169 \text{ м}.$$

Задача 1.2.3. Камень массой 1,05 кг, скользящий по поверхности льда со скоростью 2,44 м/с, под действием силы трения остановился через 10 с. Найдите силу трения, считая ее постоянной.

Решение: В соответствии со вторым законом Ньютона $F\Delta t = mv_2 - mv_1$,

где F - сила трения, под действием которой скорость тела массой m за время t меняется от v_1 до v_2 . в данном случае $v_2 = 0$ и $F = - (mv_1 / \Delta t)$.

Знак минус указывает, что направление силы трения F противоположно направлению скорости v_1 .

В системе СИ $m = 1,05$ кг, $v_1 = 2,44$ м/с и $t = 10$ с. Тогда

$$F = (-1,05 \text{ кг} \cdot 2,44 \text{ м/с}) \cdot 10 \text{ с} = -0,256 \text{ Н}.$$

1.3. Задачи для самостоятельного решения

1.3.1. Тело, двигаясь равноускоренно из состояния покоя, прошло за $t = 6$ с расстояние $s_0 = 450$ м. На каком расстоянии s от начального положения оно находилось через $t_1 = 4$ с после начала движения?

1.3.2. Зависимость пройденного пути от времени задается уравнением $s = A + Bt + Ct^2 + Dt^3$ ($C = 0,1 \text{ м/с}^2$, $D = 0,03 \text{ м/с}^3$). Определите:

1) через какое время после начала движения ускорение a тела будет равно 2 м/с^2 ;

2) среднее ускорение $\langle a \rangle$ тела за этот промежуток времени.

1.3.3. Пассажир электропоезда, движущегося со скоростью 15 м/с , заметил, что встречный поезд, длиной 210 м прошел мимо него за 6 с . Определите скорость движения встречного поезда.

1.3.4. Первую четверть пути мотоциклист проехал со скоростью $v_1 = 10 \text{ м/с}$, вторую – со скоростью $v_2 = 15 \text{ м/с}$, третью – со скоростью $v_3 = 20 \text{ м/с}$ и последнюю – со скоростью $v_4 = 5 \text{ м/с}$. Определите среднюю скорость $\langle v \rangle$ движения мотоциклиста на всем пути.

1.3.5. Поезд движется со скоростью 36 км/ч . Если выключить ток, то поезд, двигаясь равнозамедленно, останавливается через 20 с . Найдите: отрицательное ускорение поезда; расстояние, пройденное им за время торможения.

1.3.6. Определите время подъема из метро пассажира, стоящего на эскалаторе, если при одинаковой скорости относительно ступенек по неподвижному эскалатору он поднимается за $t = 2 \text{ мин}$, а по движущемуся – за $t = 30 \text{ с}$.

1.3.7. Моторная лодка плывет по реке из одного пункта в другой и обратно. Во сколько раз время движения против течения больше времени движения по течению, если скорость течения $v_1 = 2 \text{ м/с}$, а скорость лодки в стоячей воде $v_2 = 10 \text{ м/с}$.

1.3.8. Определите продолжительность полета самолета между двумя пунктами, расположенными на расстоянии 1000 км , если дует встречный ветер со скоростью $v_1 = 25 \text{ м/с}$, а средняя скорость самолета относительно воздуха $v_2 = 250 \text{ м/с}$. Чему равно время полета самолета при попутном ветре?

1.3.9. Определите время подъема лифта в высотном здании, считая его движение при разгоне и торможении равнопеременным с ускорением, равным

по абсолютной величине $a = 1 \text{ м/с}^2$, а на среднем участке – равномерным со скоростью $v = 2 \text{ м/с}$. Высота подъема $h = 60 \text{ м}$.

1.3.10. Колесо радиуса $R = 0,1 \text{ м}$ вращается так, что зависимость угловой скорости от времени задается уравнением $\omega = 2At + 5Bt^4$ ($A = 2 \text{ рад/с}^2$ и $B = 1 \text{ рад/с}^5$). Определите полное ускорение точек обода колеса через $t = 1 \text{ с}$ после начала вращения и число оборотов, сделанное колесом за это время.

1.3.11. Диск, вращаясь равноускоренно достиг угловой скорости $\omega = 20 \text{ рад/с}$, совершив $n = 10$ полных оборотов после начала вращения. Найдите угловое ускорение диска.

1.3.12. Сколько оборотов сделают колеса автомобиля после включения тормоза, если в начальный момент торможения автомобиль имел скорость $v_0 = 60 \text{ км/ч}$ и остановился за время $t = 3 \text{ с}$ после начала торможения? Диаметр колем $D = 0,7 \text{ м}$. Чему равно среднее угловое ускорение колес при торможении?

1.3.13. Автомобиль весом $5 \cdot 10^4 \text{ Н}$, движущийся по инерции со скоростью 10 м/с , вследствие трения остановился за 20 с . Определите силу трения.

1.3.14. Определите массу движущегося прямолинейно тела, которое под действием силы 30 Н через 5 с после начала движения изменяет свою скорость от 15 до 30 м/с .

1.3.15. Чему равен коэффициент трения колес автомобиля о дорогу, если при скорости автомобиля 10 м/с тормозной путь равен 8 м ?

1.3.16. Поезд массой 500 т после прекращения тяги тепловоза под действием силы трения $9,8 \cdot 10^4 \text{ Н}$ останавливается через 1 мин . С какой скоростью шел поезд?

1.3.17. Тело массой $m = 0,5 \text{ кг}$ движется прямолинейно, причем зависимость пройденного пути s от времени t задается уравнением $s = A - Bt + Ct^2 - Dt^3$, где $C = 5 \text{ м/с}^2$ и $D = 1 \text{ м/с}^3$. Найдите силу, действующую на тело в конце первой секунды движения.

1.3.18. По наклонной плоскости, расположенной под углом $\alpha = 30^\circ$ к горизонту, скользит тело. Найдите его ускорение, если коэффициент трения f равен $0,3$.

1.3.19. Из орудия вылетает снаряд массой 10 кг со скоростью 500 м/с. Найдите силу давления пороховых газов, считая ее постоянной во все время движения снаряда внутри ствола орудия, равное 0,01 с.

1.3.20. Два груза с массами $m_1 = 2$ кг и $m_2 = 1$ кг соединены нитью и перекинута через невесомый блок. Найдите: 1) ускорение, с которым движутся грузы; 2) натяжение нити. Трением в блоке пренебречь.

2. Теория относительности

2.1. Общие сведения

Движение тел со скоростью, близкой к скорости света, принято называть релятивистским.

Длина тела в направлении движения со скоростью v относительно системы отсчета связана с длиной l_0 покоящегося тела соотношением

$$l = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}},$$

где c – скорость света в вакууме.

Промежуток времени Δt в системе, движущейся со скоростью v по отношению к наблюдателю, связан с промежутком времени Δt_0 в неподвижной для наблюдателя системе соотношением

$$\Delta t = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Зависимость массы тела от скорости его движения определяется по формуле

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Кинетическая энергия движущегося тела $W_k = mc^2 - m_0c^2$, где m - масса движущегося тела со скоростью v .

Изменение массы системы на Δm соответствует изменению ее энергии на:

$$\Delta W = \Delta m c^2.$$

2.2. Примеры решения задач

Задача 2.2.1. Ракета движется относительно неподвижного наблюдателя со скоростью $v = 0.99c$ (c – скорость света в вакууме). Какое время пройдет по часам неподвижного наблюдателя, если по часам, движущимся вместе с ракетой, прошел один год? Как изменятся линейные размеры тел в ракете (в направлении ее движения) для неподвижного наблюдателя? Как изменится плотность вещества в ракете для этого наблюдателя?

Решение: Время, прошедшее по часам неподвижного наблюдателя, найдем по формуле

$$\begin{aligned}\Delta t &= \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \\ &= \frac{1}{\sqrt{1 - 0.99^2}} \approx 7.1 \text{ года}\end{aligned}$$

Размеры тел в направлении движения

$$l = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = l_0 \sqrt{1 - 0.99^2} \approx 0.14 l_0$$

Плотность вещества для неподвижного наблюдателя

$\rho = m / V$, где масса определяется по формуле релятивистского движения и объем равен произведению площади поперечного сечения на длину вдоль движения.

Таким образом, плотность определяется по формуле:

$$\rho = \frac{m_0}{V_0(1 - v^2 / c^2)} = \frac{\rho_0}{(1 - v^2 / c^2)} = \frac{\rho_0}{0.0199} \approx 50.2 \rho_0$$

2.3. Задачи для самостоятельного решения

2.3.1. Во сколько раз увеличивается продолжительность существования в неподвижной системе отсчета (ЛСО) нестабильной частицы, если она движется со скоростью $0.99c$?

2.3.2. Космическая частица движется со скоростью $0.95c$. Какой

промежуток времени соответствует одной микросекунде собственного времени частицы(ССО)?

2.3.3. Сколько времени для жителя Земли и для космонавтов займет космическое путешествие до звезды и обратно на ракете, летящей со скоростью $0.99c$? Расстояние до звезды равно 40 световым годам.

2.3.4. В верхних слоях атмосферы рождается нестабильная частица, движущаяся со скоростью $0.98c$. До распада она успевает пролететь 400 м. Каково время жизни в ЛСО и ССО?

2.3.5. Какова длина метрового стержня, движущегося со скоростью $0.6c$?

2.3.6. При какой скорости движения релятивистское сокращение длины движущегося тела составляет 25%?

2.3.7. Отношение сторон прямоугольника равно 2:1. С какой скоростью (в долях скорости света) и в каком направлении должен двигаться прямоугольник, чтобы неподвижному наблюдателю он казался квадратом?

2.3.8. По одной прямой движутся две частицы с одинаковыми скоростями, равными $0.75c$. Промежуток времени между ударами частиц в мишень оказался равным 1 нс. Каково расстояние между частицами в полете в ЛСО и ССО?

2.3.9. Две ракеты движутся с одинаковыми (по модулю) скоростями по очень близко расположенным параллельным курсам. Первая ракета приближается к наблюдателю, а вторая удаляется от него. В момент встречи(считать в одной точке) на них вспыхнули лампочки. Какую вспышку наблюдатель увидит раньше?

2.3.10. Элементарная частица нейтрино движется со скоростью света c . Наблюдатель движется навстречу нейтрино со скоростью v . Какова скорость нейтрино в системе отсчета, связанной с наблюдателем?

2.3.11. Какова масса протона (в а.е.м.), летящего со скоростью $2.4 \cdot 10^8$ м/с? Массу покоя протона считать равной 1 а.е.м.

2.3.12. На сколько увеличится масса α -частицы (в а.е.м) при увеличении ее скорости от 0 до $0.9c$? Полагать массу покоя α -частицы равной 4 а.е.м.

2.3.13. С какой скоростью должен лететь протон ($m_0=1$ а.е.м.), чтобы его масса равнялась массе покоя α -частицы ($m_0=4$ а.е.м.)?

2.3.14. При движении с некоторой скоростью продольные размеры тела уменьшились в 2 раза. Во сколько раз изменилась масса тела?

2.3.15. Во сколько раз изменится плотность тела при его движении со скоростью $0.8 \cdot c$?

2.3.16. Солнце излучает в пространство каждую секунду около $3,75 \cdot 10^{26}$ Дж. На сколько в связи с этим уменьшается ежесекундно масса Солнца?

2.3.17. На сколько изменяется масса 1 кг льда при плавлении?

2.3.18. На сколько отличается масса покоя продуктов сгорания 1 кг каменного угля от массы покоя веществ, вступающих в реакцию?

2.3.19. Масса покоящегося поезда равна 2000 т. На сколько увеличивается его масса при движении со скоростью 15 м/с?

2.3.20. Во сколько раз масса протона, имеющего кинетическую энергию 10^{10} МэВ, больше массы покоящегося протона?

2.3.21. Какова кинетическая энергия протона, если его масса больше массы покоя на величину, составляющую 5% от массы покоя?

2.3.22. Реактивный самолет летит со скоростью 3600 км/час. На сколько будут отличаться показания часов в самолете от показания часов на Земле?

2.3.23. Во сколько раз движущийся электрон со скоростью $v = 0,999 c$ тяжелее покоящегося?

2.3.24. Синхрофазотрон сообщает протонам энергию $1,6 \cdot 10^9$ Дж. Во сколько раз такие протоны тяжелее обычных?

2.3.25. Какому изменению массы соответствует изменение энергии на 1 Дж?

2.3.26. Тело движется со скоростью $2 \cdot 10^8$ м/с. Во сколько раз увеличится при этом плотность тела?

2.3.27. При какой скорости кинетическая энергия частицы равна энергии покоя?

2.3.28. Какую ускоряющую электрическую разность потенциалов должен

пройти первоначально покоящийся электрон, чтобы его кинетическая энергия стала в 10 раз больше его энергии покоя?

2.3.29. Ускоритель разгоняет протоны до кинетической энергии $70 \cdot 10^9$ эВ. С какой скоростью движутся протоны?

2.3.30. Ускоритель разгоняет протоны до кинетической энергии $70 \cdot 10^9$ эВ. Во сколько раз увеличится их масса?

3. Фундаментальные (гравитационные) взаимодействия

3.1. Общие сведения

Гравитационное взаимодействие описывается законом всемирного тяготения; две материальные точки (тела, размеры которых малы по сравнению с расстоянием между ними) притягиваются друг к другу с силой:

$$F = G m_1 m_2 / r^2,$$

где G – гравитационная постоянная, равная $6,67 \cdot 10^{-11}$ Н·м²/кг² m_1 и m_2 – массы взаимодействующих материальных точек; r – расстояние между ними.

Данный закон справедлив и для однородных шаров; при этом r – расстояние между их центрами.

Движение планет вокруг Солнца и спутников вокруг планет (в том числе и искусственных) описывается законами Кеплера:

1) планеты движутся вокруг Солнца по эллипсам, в одном из фокусов которых находится Солнце;

2) радиус-вектор, проведенный от Солнца к планете, в равные отрезки времени описывает равные площади;

3) квадраты времени обращения планет относятся как кубы больших полуосей их орбит:

$$T_1^2 / T_2^2 = R_1^3 / R_2^3.$$

В случае круговой орбиты роль большой полуоси играет радиус орбиты.

3.2. Примеры решения задач

Задача 3.2.1. Найти величину скорости v , с которой нужно вывести

искусственный спутник Земли на круговую орбиту на высоту $H = 1600$ км над поверхностью Земли. Радиус Земли $R = 6400$ км, ускорение силы тяжести у поверхности Земли $g = 9,8$ м/с². Сопротивлением воздуха пренебречь.

Решение: На высоте H над поверхностью Земли на спутник действует сила тяготения

$$F = G \cdot Mm / (R + H)^2,$$

где M – масса Земли; m – масса спутника.

Центростремительное ускорение спутника

$$a = v^2 / (R + H).$$

По второму закону Ньютона

$$G \cdot Mm / (R + H)^2 = m \cdot v^2 / (R + H),$$

откуда

$$v = \sqrt{G \cdot M / (R + H)}.$$

У поверхности Земли сила тяжести $F_m = G \cdot Mm / R^2$ сообщает телу массой m ускорение g . Поэтому $G \cdot Mm / R^2 = mg$, откуда $GM = gR^2$. С учетом последнего соотношения

$$v = \sqrt{gR^2 / (R + H)} = R\sqrt{g / (R + H)},$$

$$v = 6,4 \cdot 10^6 \text{ м} \cdot \sqrt{(9,8 \text{ м/с}^2 / 8,0 \cdot 10^6 \text{ м})} \approx 7,1 \cdot 10^3 \text{ м/с} = 7,1 \text{ км/с}.$$

Задача 3.2.2. Какова максимальная сила гравитационного притяжения между двумя свинцовыми шарами с массой 45 кг каждый и диаметром 20 см? Сравните найденную силу с силой притяжения Земли.

Решение: Сила гравитационного притяжения между свинцовыми шарами

$$F = G \cdot (m / R)^2,$$

где m – масса шара.

Подставляем численные значения:

$$F = 6,67 \cdot 10^{-11} \cdot (45 / 0,2)^2 = 3,37 \cdot 10^{-6} \text{ Н}.$$

Земля притягивает каждый из данных шаров с силой $F_g = mg = 45 \cdot 9,8 = 440$ Н, т.е. более чем в 100 млн. раз сильнее их взаимного притяжения.

Задача 3.2.3. На какой высоте должен находиться спутник Земли, чтобы его период обращения был равен периоду обращения Земли? Известно, что

спутник, летавший на расстоянии примерно 6400 км от центра Земли (первый искусственный спутник) имел период обращения $T = 5000$ с.

Решение: В соответствии с третьим законом Кеплера

$$R_2^3 = (T_2^2 / T_1^2) \cdot R_1^3,$$

где R_1 и T_1 – соответственно радиус орбиты и период обращения первого искусственного спутника, а R_2 и T_2 – радиус орбиты и период обращения спутника Земли, высота которого не известна.

Предполагается, что первый искусственный спутник удален от поверхности Земли на относительно небольшое расстояние по сравнению с радиусом Земли. А это означает, что $R_1 \approx 6400$ км и $T_1 = T = 5 \cdot 10^3$ с. Нужно найти R_2 при условии, что период T_2 равен 1 суткам или $8,6 \cdot 10^4$ с.

Радиус обращения

$$R_2 = R_1 \cdot \sqrt[3]{(T_2 / T_1)^2}, R_2 = 6400 \text{ км} \cdot \sqrt[3]{(86 / 5)^2} = 47000 \text{ км}.$$

Спутник, пролетающий над экватором на высоте $H = R_2 - R_1 \approx 40000$ км, будет парить над одной и той же точкой земной поверхности, если, конечно, он вращается в ту же сторону, что и Земля.

Задача 3.2.4. Найдите численное значение второй космической скорости, т.е. такой скорости, которую надо сообщить телу у поверхности Земли, чтобы оно преодолело земное тяготения и навсегда удалилось от Земли.

Решение. Сила притяжения между телом и Землей равна $F = G \cdot mM / r^2$, где m – масса тела; M – масса Земли и r – расстояние между ними.

Вблизи поверхности Земли $r = R$ (R – радиус Земли) и $F = mg$.

Значит, $F = mg = G \cdot mM / R^2$.

Для того, чтобы тело удалилось от Земли, необходимо, чтобы его кинетическая энергия была достаточна для преодоления потенциальной энергии сил тяготения, т.е.

$$mv^2 / 2 \geq GmM / R.$$

Из последних двух уравнений следует:

$$v \geq \sqrt{2gR}.$$

После подстановки численных значений g и R имеем:

$$v \geq 11,2 \text{ км/с.}$$

Задача 3.2.5. Оценить возможный радиус черной дыры для звезды, масса которой больше солнечной массы в 10 раз. ($M = 10M_0 = 10 \cdot 2 \cdot 10^{30} \text{ кг} = 2 \cdot 10^{31} \text{ кг}$;

$$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Нм}^2/\text{кг}^2 ; c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}). \text{ Определить: } R_{\text{чд}}$$

Решение: Радиус черной дыры (без учета эффектов общей теории относительности) находится из условия равенства второй космической скорости и скорости света.

Вторая космическая скорость – это скорость, с которой тело может уйти за пределы поля тяготения. Она находится из условия закона сохранения энергии в точке (сумма кинетической $E_{\text{кин}}$ и потенциальной $E_{\text{пот}}$ энергий), удаленной от центра тяготения на расстояние R , и на бесконечном расстоянии:

$$E_{\text{пот } R} + E_{\text{кин } R} = E_{\text{пот } \infty} + E_{\text{кин } \infty} ;$$

$$m V^2/2 - G m M/R = 0 + 0 ;$$

$$V_{II} = \sqrt{2G M/R}.$$

Приравнивая вторую космическую скорость к скорости света, получаем:

$$c = \sqrt{2G M/R}$$

$$\text{Откуда } R = 2G M/c^2$$

$$R = 2 \cdot 6,67 \cdot 10^{-11} \cdot 2 \cdot 10^{31} / (3 \cdot 10^8)^2 =$$

$$= (2 \cdot 6,67 \cdot 2/9) \cdot 10^{-11+31-16} = 2,9644 \cdot 10^4 \text{ м} \approx$$

$$\approx 29,6 \cdot 10^3 \text{ м} \approx 30 \text{ км}$$

$$\text{Ответ: } R_{\text{чд}} \approx 30 \text{ км.}$$

3.3. Задачи для самостоятельного решения

3.3.1. Оценить порядок значения силы взаимного тяготения двух кораблей, удаленных друг от друга на 100 м, если масса каждого из них 10000 т. Почему можно оценить только порядок значения силы?

3.3.2. Найти порядок значения силы, с которой притягиваются друг к другу два соседа по парте.

3.3.3. Во сколько раз уменьшится сила притяжения тела к Земле при удалении его от поверхности Земли на расстояние, равное радиусу Земли?

3.3.4. На каком расстоянии от поверхности Земли сила притяжения космического корабля к ней станет в 100 раз меньше, чем на поверхности Земли?

3.3.5. Советская автоматическая межпланетная станция «Венера-6» 10 января 1969 г. находилась на расстоянии около $1,5 \times 10^6$ км от центра Земли. Во сколько раз сила притяжения станции к Земле была меньше, чем на поверхности Земли?

3.3.6. Каково ускорение свободного падения на высоте, равной половине радиуса Земли?

3.3.7. Советская космическая ракета 12 сентября 1959 г. доставила на Луну вымпел Советского Союза. Во сколько раз сила притяжения вымпела на Луне меньше, чем на Земле, если радиус Луны приблизительно в 3,8 раза меньше радиуса Земли, а ее масса в 81 раз меньше массы Земли?

3.3.8. Радиус планеты Марс составляет 0,53 радиуса Земли, а масса - 0,11 массы Земли. Найти ускорение свободного падения на Марсе.

3.3.9. Среднее расстояние между центрами Земли и Луны равно $60 R$ (где R – радиус Земли). Масса Луны в 81 раз меньше массы Земли. В какой точке прямой, соединяющей их центры, тело будет притягиваться к Земле и Луне с одинаковыми силами?

3.3.10. Средняя плотность Венеры равна 4900 кг/м^3 , а радиус планеты $R = 6200 \text{ км}$. Найти ускорение свободного падения на поверхности Венеры.

3.3.11. Определите силу притяжения между космическим кораблем массой

$m_1 = 20 \text{ т}$ и космонавтом массой $m_2 = 70 \text{ кг}$, который находится в космосе на расстоянии 5 м от центра космического корабля. Какое ускорение способна сообщить эта сила космонавту?

3.3.12. Какую скорость необходимо сообщить телу, чтобы оно могло удалиться от поверхности Луны в бесконечность? Масса Луны $M_L = 7,3 \cdot 10^{22} \text{ кг}$; радиус Луны $R_L = 1740 \text{ км}$.

3.3.13. Найдите численное значение первой космической скорости, т.е.

такой скорости, которую надо сообщить телу у поверхности Земли в горизонтальном направлении, чтобы оно начало двигаться вокруг Земли по круговой орбите в качестве ее спутника (радиус Земли $R = 6400$ км).

3.3.14. Определите линейную скорость движения Луны вокруг Земли, считая что Луна движется по круговой орбите. Принять массу Земли равной $M_3 = 5,96 \cdot 10^{24}$ кг, а расстояние между Луной и Землей - $R = 3,844 \cdot 10^8$ м.

3.3.15. Определите массу земли, если искусственный спутник, запущенный на высоту 1000 км, имеет период обращения 106 мин.

3.3.16. С какой линейной скоростью движется Земля вокруг Солнца, если расстояние между ними $1,5 \cdot 10^{11}$ м, а масса Солнца $1,97 \cdot 10^{30}$ кг?

3.3.17. На каком расстоянии от центра Земли космическая ракета, движущаяся к Луне, будет притягиваться Землей и Луной с одинаковой силой? Масса Луны в 81 раз меньше массы Земли, а расстояние между их центрами в 60 раз больше радиуса Земли.

3.3.18. Найдите среднюю линейную скорость вращения Луны, считая среднее расстояние ее от Земли $r = 384000$ км, а массу Земли $M_3 = 5,96 \cdot 10^{24}$ кг.

3.3.19. На сколько уменьшится вес тела на вершине Эльбруса ($h = 6$ км) по сравнению с его значением на уровне моря?

3.3.20. На какой высоте ускорение силы тяжести вдвое меньше его значения на поверхности Земли?

3.3.21. Планета Марс имеет два спутника - Фобос и Деймос. Первый находится на расстоянии $R_1 = 9500$ км от центра Марса, второй - на расстоянии $R_2 = 24000$ км. Найдите периоды обращения этих спутников вокруг Марса.

3.3.22. Какое линейное ускорение получает Земля под действием силы притяжения Солнца?

3.3.23. Определить радиус черной дыры в центре галактики с массой порядка 10^9 масс Солнца.

3.3.24. Оценить возможный радиус черной дыры для Солнца.

3.3.25. Определить радиус черной дыры для Сириуса.

3.3.26. Определить радиус черной дыры для Веги.

3.3.27. Определить радиус черной дыры для Бетельгейзе.

4. Фундаментальные (электромагнитные) взаимодействия

4.1. Общие сведения

Сила взаимодействия между двумя точечными зарядами по закону Кулона определяется формулой

$$F = q_1 q_2 / (4 \pi \epsilon_0 \epsilon r^2),$$

где q_1 и q_2 – величины зарядов; ϵ_0 – электрическая постоянная ($\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м); ϵ – диэлектрическая проницаемость среды.

Напряженность электрического поля

$$E = F / q,$$

где F – сила, действующая на заряд q .

Напряженность поля нескольких зарядов равна векторной сумме напряженностей отдельных зарядов: $E = \sum E_r$. Напряженность поля точечного заряда (равномерно заряженного шара или сферы) равна

$E = q / (4 \pi \epsilon_0 \epsilon r^2)$, где q – величина точечного заряда (заряда шара или сферы).

Работа, совершаемая при перемещении заряда q в однородном электрическом поле $A = q E s \cos \alpha$, где s – величина перемещения; α – угол между направлениями векторов напряженности электрического поля и перемещения.

Потенциал в какой-либо точке электрического поля $\varphi = W / q$,

где φ – потенциальная энергия заряда q , помещенного в данную точку.

Работа, совершаемая при перемещении заряда q из точки поля с потенциалом φ_1 в точку с потенциалом φ_2 : $A = q(\varphi_1 - \varphi_2)$.

Потенциал поля точечного заряда $\varphi = q / 4 \pi \epsilon_0 \epsilon r$, где r – расстояние от заряда.

Напряженность электрического поля и потенциал связаны соотношением

$$E = -d\varphi / dr.$$

В случае однородного поля – поля плоского конденсатора

$$E = (\varphi_1 - \varphi_2) / d,$$

где $\varphi_1 - \varphi_2$ – разность потенциалов между пластинами конденсатора;
 d – расстояние между ними.

Потенциал уединенного проводника и его заряд связаны соотношением

$q = C\varphi$, где C – емкость проводника.

Емкость плоского конденсатора $C = \varepsilon_0 \varepsilon S / d$, где S – площадь каждой пластины конденсатора.

Емкость уединенного шара $C = 4 \pi \varepsilon_0 \varepsilon r$.

Емкость системы конденсаторов:

при параллельном соединении - $C = C_1 + C_2 + C_3 + \dots$,

при последовательном соединении - $C^{-1} = C_1^{-1} + C_2^{-1} + C_3^{-1} + \dots$

Энергия заряженного проводника

$$W = 1/2 \cdot q\varphi = 1/2 C\varphi^2 = q^2 / 2C.$$

Объемная плотность энергии электрического поля $W_0 = \varepsilon_0 \varepsilon E^2 / 2$.

Сила тока I численно равно количеству электричества, проходящему через поперечное сечение проводника в единицу времени:

$$I = dq / dt.$$

Если $I = \text{const}$, то $I = q / t$.

Плотность электрического тока $j = I / S$, где S – площадь поперечного сечения проводника.

Закон Ома для участка цепи $I = U / R$, где U – разность потенциалов на концах участка и R – сопротивление данного участка.

Сопротивление проводника $R = \rho l / S$, где ρ – удельное сопротивление; l и S – длина и площадь поперечного сечения проводника.

Работа электрического тока цепи

$$A = IUt = I^2 R t = U^2 t / R.$$

Для замкнутой цепи закон имеет вид

$$I = \mathcal{E} / (R + r),$$

где \mathcal{E} – э.д.с. источника тока; R – внешнее сопротивление; r – внутреннее

сопротивление источника тока.

Полная мощность, выделяемая в цепи, $P = \mathcal{E}I$.

Первый закон Кирхгофа - алгебраическая сумма сил токов, сходящихся в узле, равна нулю :

$$\sum I_i = 0.$$

Второй закон Кирхгофа - в любом замкнутом контуре алгебраическая сумма падений потенциала на отдельных участках цепи равна алгебраической сумме э.д.с. источников, включенных в данном контуре:

$$\sum IR = \sum \mathcal{E}.$$

В соответствии с законом Био-Савара-Лапласа элемент контура dl , по которому течет ток I , создает в некоторой точке А пространства магнитное поле напряженностью

$$dH = I \sin \alpha \, dl / \pi r^2 ,$$

где r - расстояние от элемента dl до точки А, α - угол между радиусом-вектором r и элементом dl .

Напряженность магнитного поля в центре кругового тока $H = I / 2R$,

где R - радиус кругового контура с током.

Напряженность магнитного поля бесконечно длинного проводника с током на расстоянии a : $H = I / 2\pi a$.

Напряженность магнитного поля внутри бесконечно длинного соленоида и тороида $H = In$, где n - число витков на единицу длины.

Магнитная индукция B связана с напряженностью H магнитного поля соотношением $B = \mu_0 \mu H$, где μ_0 - магнитная постоянная ($\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м); μ - магнитная проницаемость среды.

Объемная плотность энергии магнитного поля $W_0 = HB / 2$.

Поток магнитной индукции сквозь контур $\Phi = BS \cos \varphi$, где S - площадь контура; φ - угол между нормалью к плоскости контура и направлением магнитного поля.

На элемент dl проводника с током, находящийся в магнитном поле,

действует сила Ампера

$$dF = BI \sin \alpha \, dl,$$

где α – угол между направлениями тока и магнитного поля.

Сила, действующая на заряженную частицу, движущуюся со скоростью v в магнитном поле, определяется формулой Лоренца

$$F = qBv \sin \alpha,$$

где α – угол между направлениями скорости частицы и магнитного поля;
 q – заряд частицы.

Э.д.с. электромагнитной индукции в соответствии с законом Фарадея

$$\mathcal{E} = -dF / dt.$$

Изменения потока магнитной индукции достигается, например, при изменении силы тока в самом контуре (явление самоиндукции). При этом э.д.с. самоиндукции

$$\mathcal{E} = -L \, dI / dt,$$

где L – индуктивность контура.

Индуктивность соленоида $L = \mu_0 \mu n^2 l S$, где l – длина соленоида; S – площадь его поперечного сечения; n – число витков на единицу длины.

Энергия магнитного поля контура с током

$$W = 1/2 \, L I^2.$$

4.2. Примеры решения задач

Задача 4.2.1. Два одинаковых маленьких шарика, имеющих заряды $q_1 = +10^{-3}$ Кл и $q_2 = -0.33 \cdot 10^{-3}$ Кл, приведены в соприкосновение и затем разведены на расстояние $r = 20$ см. Найдите силу взаимодействия между ними.

Решение: После соприкосновения на обоих шариках заряды стали одинаковыми, причем суммарный заряд (в силу закона сохранения электрического заряда) не изменяется. Поэтому заряд каждого шарика после соприкосновения

$$q_3 = (q_1 + q_2) / 2;$$

$$q_3 = \{(1/10^3) - (1/3 \cdot 10^3)\} / 2 = 1/3 \cdot 10^{-3} \text{ Кл.}$$

Сила взаимодействия между шариками

$$F = (1 / 4\pi\epsilon_0\epsilon) \cdot (q_3^2 / r^2).$$

Подставляя численные значения, получим $F = 2500 \text{ Н}$.

Задача 4.2.2. Два металлических одинаково заряженных шарика массой 0,2 кг каждый находятся на некотором расстоянии друг от друга. Найдите заряд шариков, если известно, что на этом расстоянии их электростатическая энергия в миллион раз больше их взаимной гравитационной энергии.

Решение: Электростатическая энергия шариков

$$W_1 = q^2 / 4\pi\epsilon_0\epsilon r,$$

их взаимная гравитационная энергия

$$W_2 = G \cdot m_1 m_2 / r.$$

По условию

$$q^2 / 4\pi\epsilon_0\epsilon r = nG \cdot m_1 m_2 / 2,$$

где $n = 10^6$. Отсюда

$$q = \sqrt{4\pi\epsilon_0\epsilon nGm_1 m_2}.$$

Подставляя численные данные задачи, получим $q = 1,7 \cdot 10^{-8} \text{ Кл}$.

Задача 4.2.3. Медный шар диаметром 1 см помещен в масло. Плотность масла $\rho_1 = 800 \text{ кг/м}^3$, плотность меди $\rho_2 = 8,6 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$. Чему равен заряд шара, если в однородном электрическом поле шар оказался взвешенным в масле? Электрическое поле направлено вертикально вверх и его напряженность $E = 36 \text{ кВт/см}$.

Решение: На шар действуют три силы: сила электрического поля F_1 , направленная вверх; сила тяжести P , направленная вниз, и сила Архимеда F_2 , направленная вверх. В равновесии

$$P = F_1 + F_2. \quad (1)$$

Причем $P = mg = \rho_2 \cdot 4/3 \cdot \pi r^3 g,$ (2)

где ρ_2 – плотность меди;

$$F_1 = Eq \text{ и } F_2 = \rho_1 \cdot 4/3 \cdot \pi r^3 g, \quad (3)$$

где ρ_1 – плотность масла.

Из формул (1), (2), (3) следует

$$q = \{4\pi r^3 g(\rho_2 - \rho_1)\} / 3E.$$

Подставляя численные данные, получаем $q = 1,1 \cdot 10^{-3}$ Кл.

Задача 4.2.4. Электрическая лампа рассчитана на напряжение $U_I = 50$ В при силе тока $I_I = 3.5$ А. Ее надо включить в сеть с напряжением $U = 120$ В с помощью дополнительного сопротивления из никелиновой проволоки сечением $0,1 \text{ мм}^2$ (удельное сопротивление никелина $\rho = 0,40 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$). Определите длину проволоки.

Решение: Дополнительное сопротивление подсоединяется последовательно к лампе, поэтому сила тока на всех участках цепи одна и та же и равна I . Падение напряжения на дополнительном сопротивлении равно $U - U_I$.

Сопротивление никелинового провода должно быть

$$R = (U - U_I) / I;$$

его численное значение

$$R = (120\text{В} - 50 \text{ В}) / 3.5 \text{ А} = 20 \text{ Ом}.$$

Из формулы $R = \rho \cdot l/S$ находим $l = RS / \rho$.

После подстановки данных получаем $l = 5,0$ м.

Задача 4.2.5. На прямой провод длиной $l = 2$ м с током $I = 50$ А, расположенный в однородном магнитном поле под углом $\alpha = 30^\circ$ к направлению магнитных линий поля, действует сила $F = 5$ Н. Определите индукцию магнитного поля.

Решение: На проводник с током, помещенный в магнитное поле, действует сила Ампера

$$A = B I l \sin \alpha.$$

Индукция магнитного поля $B = F / I l \sin \alpha$.

После подстановки численных значений получим $B = 0,1$ Тл.

Задача 4.2.6. В катушке с индуктивностью $L = 0.4$ Гн возникает э.д.с. самоиндукции $\mathcal{E} = 20$ В. Определите скорость изменения тока в катушке.

Решение. Модуль э.д.с. самоиндукции $|\mathcal{E}| = L \cdot dI / dt$, откуда скорость

изменения тока

$$dI / dt = |\mathcal{E}| / L.$$

После подстановки численных значений получим $dI / dt = 50 \text{ A/c}$.

4.3. Задачи для самостоятельного решения

4.3.1. С какой силой взаимодействуют два заряда по 10 нКл, находящиеся на расстоянии 3 см друг от друга?

4.3.2. На каком расстоянии друг от друга заряды 1 мкКл и 10 нКл взаимодействуют с силой 9 мН ?

4.3.3. Во сколько раз надо изменить расстояние между зарядами при увеличении одного из них в 4 раза, чтобы сила взаимодействия осталась неизменной?

4.3.4. Во сколько раз надо изменить значение каждого из двух одинаковых зарядов, чтобы при погружении их в воду сила взаимодействия при том же расстоянии между ними была такая же, как в воздухе?

4.3.5. Во сколько раз нужно изменить расстояние между двумя зарядами, чтобы при погружении их в керосин сила взаимодействия между ними была такая же, как в воздухе?

4.3.6. Во сколько раз сила электрического отталкивания между двумя электронами больше силы их гравитационного притяжения друг к другу?

4.3.7. Что устанавливает закон Ампера?

4.3.8. Чему равен модуль силы Ампера?

4.3.9. С какой силой действует магнитное поле с индукцией 10 мТл на проводник, в котором сила тока 50 А, если длина активной части проводника 0.1 м? Поле и ток взаимно перпендикулярны.

4.3.10. Протон и альфа-частица влетают в однородное магнитное поле перпендикулярно линиям индукции. Сравнить радиусы окружностей, которые описывают частицы, если у них одинаковы: а) скорости; б) энергии. Заряд альфа-частицы в 2 раза больше заряда протона, а масса в 4 раза больше.

4.3.11. С какой силой притягивается электрон к ядру атома водорода, если

диаметр атома водорода 10^{-8} см, а заряд электрона $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл?

4.3.12. Во сколько раз сила гравитационного притяжения между двумя протонами меньше их силы электростатического отталкивания? Заряд протона $1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл, масса протона $1,7 \cdot 10^{-27}$ кг.

4.3.13. Два одноименных заряда $6 \cdot 10^{-9}$ и $11 \cdot 10^{-9}$ Кл находятся на расстоянии 6 см друг от друга. На каком расстоянии между ними следует поместить третий заряд, чтобы система находилась в равновесии?

4.3.14. В центре квадрата расположен положительный заряд $2,5 \cdot 10^{-7}$ Кл. Какой отрицательный заряд следует поместить в каждой вершине квадрата, чтобы система зарядов находилась в равновесии?

4.3.15. С какой силой действует электрическое поле в атмосфере на молекулу кислорода, содержащего один избыточный электрон, если напряженность поля в приземном слое атмосферы 130 В/м (заряд электрона $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл)?

4.3.16. Два заряда $17 \cdot 10^{-9}$ и $-6 \cdot 10^{-9}$ Кл находятся на расстоянии 5 см друг от друга. Найдите на прямой, проходящей через данные заряды, точку, в которой напряженность поля равна нулю.

4.3.17. Разность потенциалов электрического поля Земли между двумя точками, отстоящими по вертикали на 0,5 м, равна 60 В. Определите напряженность поля Земли в приземном слое, считая его однородным. Каков потенциал поля относительно Земли на высоте 10 м.

4.3.18. Эквипотенциальная линия проходит через точку с напряженностью

$E_1 = 5$ кВ/м, отстоящую от создающего поля заряда на расстоянии $R_1 = 2,5$ см. На каком расстоянии от заряда проходит другая эквипотенциальная линия, чтобы разность потенциалов между линиями $\Delta\phi = 25$ В?

4.3.19. конденсатор емкостью $C_1 = 20$ мкФ заряжен до напряжения $U_1 = 200$ В. К нему присоединяется параллельно незаряженный конденсатор емкостью $C_2 = 300$ мкФ. Какое напряжение установится после их соединения?

4.3.20. Конденсаторы емкостью 250 и 500 мкФ соединили параллельно и

подключили к источнику постоянного напряжения 12 В. Найдите заряд каждого конденсатора, их общий заряд и общую емкость.

4.3.21. Найдите напряженность поля плоского конденсатора с расстоянием между пластинами $5 \cdot 10^{-2}$ м, если электрон, двигаясь вдоль силовой линии от одной пластины к другой, приобретает скорость $3 \cdot 10^6$ м/с.

4.3.22. Энергия плоского конденсатора, присоединенного в источнику тока с напряжением 300 В, равна $2,3 \cdot 10^{-2}$ Дж. Определите емкость такого конденсатора.

4.3.23. Два конденсатора емкостью $C_1 = 2$ мкФ и $C_2 = 3$ мкФ соединили последовательно и зарядили до разности потенциалов $U = 1000$ В. Найдите изменение энергии системы, если ее отключить от источника напряжения и одноименно заряженные обкладки конденсатора соединить параллельно.

4.3.24. Генератор постоянного тока дает во внешнюю цепь ток 10 А. Сопротивление внешней цепи 11,5 Ом. Определите э.д.с., индуцируемую в обмотке якоря, и напряженность на зажимах генератора, если сопротивление якоря 0,3 Ом.

4.3.25. Батарея из двух параллельно соединенных источников с э.д.с. 2 и 1,8 В и внутренним сопротивлением 0,05 Ом каждый замкнута на сопротивление 2 Ом. Найдите силу тока, проходящего через сопротивление и через источники.

4.3.26. Найдите длину медного провода, свернутого в бухту, не разматывая его, если при подсоединении его к источнику э.д.с. напряжением 30 В по проводу проходит ток 6 А. Сечение провода 1,5 мм², удельное сопротивление провода $1,72 \cdot 10^{-8}$ Ом·м.

4.3.27. Два параллельно соединенных сопротивления, из них одно сопротивление в 2 раза больше другого, включены в сеть напряжением 90 В. Найдите величину этих сопротивлений и ток в них, если до разветвления ток равен 1,5 А.

4.3.28. Генератор постоянного тока развивает э.д.с. 150 В и дает во внешнюю цепь ток 30 А. Определите мощность, передаваемую потребителю;

мощность потерь внутри источника и кпд источника, если его внутреннее сопротивление $0,6 \text{ Ом}$.

4.3.29. При прохождении постоянного тока в течении 30 мин через сопротивление 5 Ом выделилась энергия 750 кДж . Определите величину тока и падение напряжения на сопротивлении.

4.3.30. По двум параллельным бесконечно длинным проводникам, находящимся на расстоянии $d = 10 \text{ см}$ друг от друга, текут токи противоположного направления величиной $I = 30 \text{ А}$. Определите напряженность магнитного поля в точке, расположенной посередине между проводниками. Чему равна напряженность магнитного поля в точке, которая находится на расстоянии $r_1 = 15 \text{ см}$ от одного проводника и $r_2 = 5 \text{ см}$ от другого и расположена в плоскости, проходящей через оба проводника?

4.3.31. Определите величину тока в катушке радиусом 30 см , содержащей 600 витков, если в центре катушки напряженность магнитного поля 6000 А/м .

4.3.32. Чему равна механическая мощность, развиваемая при перемещении прямолинейного проводника длиной 20 см со скоростью 5 м/с в однородном магнитном поле с индукцией $0,1 \text{ Тл}$, если угол между направлением движения проводника и направлением вектора индукции магнитного поля составляет 90° , а величина тока в проводнике 50 А ?

4.3.33. Электрон, прошедший ускоряющую разность потенциалов 500 В , попал в вакууме в однородное магнитное поле и движется по окружности радиусом 10 см . Определите величину напряженности магнитного поля, если скорость электрона перпендикулярна вектору напряженности магнитного поля.

4.3.34. Через катушку радиусом $R = 2 \text{ см}$, содержащую $N = 500$ витков, проходит постоянный ток $I = 5 \text{ А}$. Определите индуктивность катушки, если напряженность магнитного поля в ее центре $H = 10^4 \text{ А/м}$.

4.3.35. Определите энергию магнитного поля соленоида, содержащего $N = 500$ витков, которые намотаны на картонный каркас радиусом $R = 2 \text{ см}$ и длиной $l = 0,5 \text{ м}$, если по нему течет ток $I = 5 \text{ А}$.

4.3.36. Оценить во сколько раз сила электростатического взаимодействия двух электронов между собой больше их гравитационного притяжения?

4.3.37. Оценить во сколько раз сила электростатического отталкивания двух протонов между собой больше их гравитационного притяжения?

4.3.38. С какой силой взаимодействуют два электрона, находящиеся на расстоянии 0,1 мм друг от друга?

4.3.39. С какой силой взаимодействуют электрон и протон в атоме водорода? Радиус орбиты электрона $0,53 \cdot 10^{-10}$ м.

4.3.40. Оценить силу электростатического отталкивания в ядре двух протонов. Принять размеры ядра 10^{-15} м.

4.3.41. Сравнить для изотопа водорода ${}^2_1\text{H}$ силы гравитационного и кулоновского взаимодействия электрона и ядра изотопа.

5. Порядок и беспорядок в природе (основы термодинамики)

5.1. Общие сведения

Идеальные газы подчиняются уравнению состояния Менделеева – Клайперона:

$$PV = \frac{m}{\mu} RT$$

где P – давление газа; V – его объем; m – масса газа; μ – молярная масса; R – универсальная газовая постоянная. Идеальный газ может участвовать в процессах, когда из термодинамических параметров неизменен: изохорный, изотермический или изобарный процессы. В этом случае можно применять частные случаи уравнения Менделеева - Клайперона, а именно, законы Гей-Люссака, Бойля – Мариотта.

Основное уравнение кинетической теории газов имеет вид:

$$P = 2 / 3 n \cdot \hat{W}_0 = 2 / 3 n \cdot m_0 \cdot v^2 / 2$$

где n – число молекул в единице объема; \hat{W}_0 – средняя кинетическая энергия поступательного движения одной молекулы; m_0 – масса молекулы; v – средняя скорость.

Число молекул в единице объема $n = P / (k \cdot T)$,

где $k = R / N_A$ – постоянная Больцмана; N_A – число Авогадро.

Средняя кинетическая энергия поступательного движения молекул

$$\hat{W}_0 = 3 / 2 k \cdot T.$$

Для средней квадратичной скорости справедливо выражение:

$$v^2 = 3 R T / \mu = 3 k T / m_0,$$

где $m_0 = \mu / N_A$.

Энергия теплового движения молекул или внутренняя энергия газа определяется соотношением: $W = m \cdot i \cdot R \cdot T / (2 \cdot \mu)$, где i – число степеней свободы молекул (для одноатомного газа i равно 3, для двухатомного – $i=5$, многоатомного – $i=6$).

Молярная теплоемкость газа при постоянном объеме $C_V = i \cdot R / 2$, при постоянном давлении $C_P = C_V + R$.

Первое начало термодинамики записывается в виде: $dQ = dW + dA$ и означает, что количество теплоты, сообщаемое термодинамической системе, идет на изменение внутренней энергии системы и совершение работы. Причем работа, совершаемая при изменении объема, определяется выражением $dA = P \cdot dV$, а изменение внутренней энергии – $dW = m \cdot i \cdot R \cdot dT / (2 \cdot \mu)$.

При сгорании топлива массой m выделяется количество теплоты $Q = q \cdot m$, где q – удельная теплота сгорания топлива.

Коэффициент полезного действия (кпд) равен:

$$\eta = Q_{\text{полезное}} / Q_{\text{затраченное}} = (T_1 - T_2) / T_1.$$

5.2. Примеры решения задач

Задача 5.2.1. Найдите среднюю кинетическую энергию поступательного движения одной молекулы гелия, имеющего при давлении 100 кПа плотность 0.12 кг / м³.

Решение: Воспользуемся основным уравнением кинетической теории газов $P = 2 / 3 n \cdot \hat{W}_0$. Число молекул в единице объема $n = N_A \cdot \rho / \mu$, где ρ – плотность. Выразим из этих двух формул среднюю кинетическую энергию: \hat{W}_0

$= 3 \cdot P \cdot \mu / (2 \cdot \rho \cdot N_A)$. Подставляем числовые значения и получим $\hat{W}_0 = 8.3 \cdot 10^{-21}$ Дж.

Задача 5.2.2. Найдите удельную теплоемкость при постоянном объеме некоторого многоатомного газа, если известно, что плотность этого газа при нормальных условиях равна $7.95 \cdot 10^{-4}$ г/см³.

Решение: Удельная теплоемкость при постоянном объеме определяется формулой: $C_V = (R \cdot i) / (2 \cdot \mu)$. Из уравнения Клайперона - Менделеева следует выражение для плотности газа: $\rho = (P \cdot \mu) / (R \cdot T)$. Из этих двух уравнений находим $C_V = (P \cdot i) / (2 \cdot T \cdot \rho)$. Подставляем числовые значения и получим $C_V = 1400$ Дж / (кг · К).

Задача 5.2.3. Тело массой 100 кг скользит вниз по плоскости, наклоненной под углом 30° к горизонту. Как изменится внутренняя энергия тела и наклонной плоскости при перемещении тела на 3 м по высоте? Коэффициент трения скольжения равен 0.2.

Решение: При скольжении тело и плоскость нагреваются, в результате чего их внутренняя энергия увеличивается. Изменение внутренней энергии равно работе против сил трения, т.е. $\Delta W = A_{mp}$. Сила трения $F_{mp} = k \cdot m \cdot g \cdot \cos \alpha$. Путь, пройденный при опускании на высоту, определяется формулой: $l = h / \sin \alpha$. Следовательно работа выражается формулой: $A_{mp} = F_{mp} \cdot l = k \cdot m \cdot g \cdot h \cdot \operatorname{ctg} \alpha$. Подставляем числовые значения и получим $\Delta W = 1020$ Дж.

Задача 5.2.4. Автомобиль расходует 5.67 кг бензина на 50 км пути. Определите мощность, развиваемую при этом двигателем автомобиля, если скорость движения 72 км/час и кпд двигателя 22%. Удельную теплоту сгорания бензина принять равной 45 МДж/кг.

Решение: Выделяемое количество теплоты при сгорании бензина равно энергии $W = m \cdot q$. Полезная работа при этом $A = \eta \cdot W$. Развиваемая двигателем мощность $N = A / t = m \cdot q \cdot \eta / t$. Учитывая, что $t = S / v$, получим $N = m \cdot q \cdot \eta \cdot v / S$. Подставляем числовые значения и получим $N = 22.4 \cdot 10^3$ Вт.

Задача 5.2.5. В результате теплового процесса газ совершил работу 2 кДж и передал холодильнику 8.4 кДж тепла. Определите кпд тепловой машины.

Решение: Совершаемая рабочим телом полезная работа $A = Q_1 - Q_2$, т.е. количество теплоты, переданное рабочему телу $Q_1 = A + Q_2$, где Q_2 – количество теплоты, отданное холодильнику. Кпд тепловой машины:

$$\eta = Q_{\text{полезное}} / Q_{\text{затраченное}} = (Q_1 - Q_2) / Q_1 = A / (A + Q_2).$$

Подставляем числовые значения и получим $\eta = 19\%$.

5.3. Задачи для самостоятельного решения

5.3.1. Бак с жидкостью, над поверхностью которой находится воздух, герметически закрыт. Почему, если открыть кран, находящийся в нижней части бака, после вытекания некоторого количества жидкости дальнейшее ее истечение прекратится? Что надо сделать, чтобы обеспечить свободное вытекание жидкости?

5.3.2. Во сколько раз изменится давление воздуха в цилиндре, если поршень переместится на $1/3$ его хода влево? Вправо?

5.3.3. Баллон содержит 40 л сжатого воздуха под давлением 15 МПа. Какой объем воды можно вытеснить из цистерны подводной лодки воздухом из этого баллона, если лодка находится на глубине 20 м?

5.3.4. Какова плотность сжатого воздуха при 0°C в камере автомобиля «Волга», если он находится под давлением 0,17 МПа (избыточным над атмосферным)?

5.3.5. Какая масса воздуха m выйдет из комнаты объемом $V = 60 \text{ м}^3$ при повышении температуры от $T_1 = 280 \text{ К}$ до $T_2 = 300 \text{ К}$ при нормальном давлении?

5.3.6. Почему аэростаты окрашивают в серебристый цвет?

5.3.7. Резиновую лодку надули ранним утром, когда температура окружающего воздуха была 7°C . На сколько процентов увеличилось давление воздуха в лодке, если днем под лучами солнца от прогрелся до 35°C ?

5.3.8. При какой температуре находился газ в закрытом сосуде, если при нагревании его на 140 К давление возросло в 1,5 раза?

5.3.9. Какова зависимость числа молекул газа в единице объема от

абсолютной температуры при изохорном процессе? При изобарном процессе?

5.3.10. Газ при давлении 0,2 МПа и температуре 15°C имеет объем 5 л? Чему равен объем этой массы газа при нормальных условиях?

5.3.11. Какое давление рабочей смеси установилось в цилиндрах внутреннего сгорания, если к концу такта сжатия температура повысилась с 47°C до 367°C , а объем уменьшился с 108 до 0,3 л? Первоначальное давление было 100 кПа.

5.3.12. Каково давление сжатого воздуха, находящегося в баллоне емкостью 20 л при 12°C , если масса этого воздуха 2 кг?

5.3.13. Какой емкости нужен баллон для содержания в нем 50 моль газа, если при максимальной температуре 360 К давление не должно превышать 6 МПа?

5.3.14. В одинаковых баллонах при одинаковой температуре находятся равные массы водорода (H_2) и углекислого газа (CO_2). Какой из газов и во сколько раз производит большее давление на стенки баллона?

5.3.15. Пользуясь таблицей Менделеева, найти плотность ацетилена (C_2H_2) при нормальных условиях.

5.3.16. Зная плотность воздуха при нормальных условиях, найти молярную массу воздуха.

5.3.17. Вычислить увеличение внутренней энергии 2 кг водорода при повышении его температуры на 10 К.

5.3.18. Для получения газированной воды через воду пропускают сжатый углекислый газ. Почему температура воды при этом понижается?

5.3.19. Вычислить КПД газовой горелки, если в ней используется газ. Теплота сгорания которого 36 МДж/м^3 , а на нагревание чайника с 3 л воды от 10°C до кипения было израсходовано 60 л газа. Теплоемкость чайника 100 Дж/К.

5.3.20. При трении двух тел, теплоемкости которых по 800 Дж/К, температуре через 1 мин повысилась на 30 К. Найти среднюю мощность при трении.

5.3.21. Два одинаковых стальных шарика упали с одной и той же высоты. Первый упал в вязкий грунт, а второй, ударившись о камень, отскочил и был пойман рукой на некоторой высоте. Какой из шариков больше нагрелся?

5.3.22. Что обладает большей внутренней энергией: рабочая смесь, находящаяся в цилиндре двигателя внутреннего сгорания к концу такта сжатия (до проскакивания искры), или продукт ее горения к концу рабочего хода?

5.3.23. Гусеничный трактор развивает номинальную мощность 60 кВт и при этой мощности расходует в среднем в час 18 кг дизельного топлива. Найти КПД его двигателя.

5.3.24. В сосуде объемом 20 л находится 4 г водорода, при температуре 27°С. Найдите давление водорода.

5.3.25. Определите число молекул, содержащихся в единице массы углекислого газа. Найдите массу одной молекулы и для нормальных условий число молекул в 1 см³ газа, если плотность данного газа при нормальных условиях равна 1.98 кг/м³.

5.3.26. Найдите плотность кислорода при температуре 300 К и давлении $1.6 \cdot 10^5$ Па. Определите массу кислорода, занимающего при этих условиях 200 м³.

5.3.27. Сколько степеней свободы имеет молекула, обладающая средней кинетической энергией теплового движения $9.7 \cdot 10^{-21}$ Дж при температуре 7°С?

5.3.28. Чему равна средняя кинетическая энергия поступательного движения и полная средняя кинетическая энергия молекул при температуре 1000°С для одноатомных, двухатомных и многоатомных газов?

5.3.29. Найдите среднюю квадратичную скорость молекул газа. Имеющего плотность 1,8 кг/м³ при давлении 152 кПа.

5.3.30. Газ нагревается в открытом сосуде при нормальном атмосферном давлении от 27°С до 327°С. На сколько при этом изменится число молекул в единице объема?

5.3.31. Удельная теплоемкость при постоянном давлении некоторого газа 987 Дж/кг·К, масса его 34 кг/кмоль. Определите, каким числом степеней

свободы обладают молекулы этого газа.

5.3.32. Разность между удельными теплоемкостями при постоянном давлении и постоянном объеме для некоторого газа равна $260 \text{ Дж/кг}\cdot\text{К}$. Определите молярную массу данного газа.

5.3.33. При нагревании газа на 25°C при постоянном давлении необходимо затратить 500 Дж тепла, а при охлаждении того же количества газа на 78°C при постоянном объеме выделяется 1070 Дж . Определите отношение теплоемкостей C_p / C_v .

5.3.34. $5,6 \text{ г}$ окиси углерода (CO) находится под давлением $2 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$ при температуре 17°C . После нагревания при постоянном давлении газ занял объем 5 дм^3 . Определите количество теплоты, полученной газом.

5.3.35. Закрытый баллон объемом $0,8 \text{ м}^3$ заполнен азотом под давлением $2,3 \cdot 10^6 \text{ Н/м}^2$ при температуре 20°C . Газу сообщили $4,6 \cdot 10^3 \text{ кДж}$ тепла. Определите температуру и давление газа в конце процесса.

5.3.36. В цилиндре диаметром $d = 40 \text{ см}$ содержится $V = 0,08 \text{ м}^3$ двухатомного газа. На сколько следует увеличить нагрузку поршня при подводе 84 Дж тепла, чтобы поршень не пришел в движение?

5.3.37. При изобарическом расширении некоторой массы многоатомного газа, находящегося под давлением $2 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$, его внутренняя энергия изменилась на $4,8 \text{ кДж}$. Найдите увеличение объема газа.

5.3.38. На сколько километров пути хватит автомашине $V = 40 \text{ л}$ бензина, если ее вес равен $P = 35,5 \text{ кН}$, общее сопротивление движению составляет $0,050$ этой силы, КПД двигателя $\eta = 18\%$, удельная теплота сгорания бензина $q = 4,6 \cdot 10^7 \text{ Дж/кг}$, плотность бензина $\rho = 0,7 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$. Движение считать равномерным.

5.3.39. Какое количество теплоты за сутки теряется через стены и окна в комнате с печным отоплением, если для поддержания в ней постоянной температуры воздуха потребовалось сжечь 10 кг угля? Удельная теплота сгорания угля $q = 2,05 \cdot 10^7 \text{ Дж/кг}$; КПД печи равна 35% .

5.3.40. Двигатель автомобиля развивает мощность 55 кВт и потребляет

0,31 кг бензина на 1 кВт·ч энергии. Определите кпд двигателя.

5.3.41. Найдите массу горючего, необходимого для тепловоза, состоящего из двух секций с дизелями мощностью 735 кВт в каждом при кпд 28%, чтобы пройти расстояние 10^3 км со средней скоростью 72 км/ч.

5.3.42. Газ совершает цикл Карно. Абсолютная температура нагревателя в 3 раза выше абсолютной температуры холодильника. Какую долю тепла, получаемого за один цикл от нагревателя, газ отдает холодильнику?

5.3.43. Идеальная тепловая машина, работающая по циклу Карно, имеет температуру нагревателя 227°C , температуру холодильника 127°C . Во сколько раз нужно увеличить температуру нагревателя, чтобы кпд машины увеличился в 3 раза?

5.3.44. Газ, совершающий идеальный цикл Карно, $\frac{3}{4}$ тепла, которое он получил от нагревателя, отдает холодильнику. Температура холодильника 0°C . Определите температуру нагревателя.

6. Порядок и беспорядок в природе (дуализм микрочастиц)

6.1. Общие сведения

Энергия кванта света (фотона) $E = h \cdot \nu$, где $h = 6.625 \cdot 10^{-34}$ Дж · с - постоянная Планка; ν - частота излучения.

Импульс фотона $p = h \cdot \nu / c = h / \lambda$,

где c – скорость света в вакууме ($c = 3 \cdot 10^8$ м/с).

Связь между энергией фотона, вызывающего внешний фотоэффект, и максимальной кинетической энергией вылетевших электронов определяется формулой: $h \cdot \nu = A + m v^2 / 2$,

где A – работа выхода электронов с поверхности металла. Если $\nu = 0$, то $h \cdot \nu_0 = A$, где ν_0 – частота, соответствующая красной границе фотоэффекта.

С любой частицей, обладающей импульсом p , сопоставляется волновой процесс с длиной волны де Бройля $\lambda = h / p$.

6.2. Примеры решения задач

Задача 6.2.1. Чему равна энергия фотона с длиной волны 400 нм? Ответ выразить в джоулях и электрон-вольтах.

Решение: Энергия фотона $E = h \cdot \nu = h c / \lambda$.

Подставляя численные значения, получим:

$$E = 6.63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с} \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ м/с} / 4 \cdot 10^{-7} \text{ м} = 4.97 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}.$$

$$1 \text{ эВ} = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}.$$

$$E = 4.97 \cdot 10^{-19} \text{ Дж} / 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж} / \text{эВ} = 3.11 \text{ эВ}.$$

Задача 6.2.2. Ультрафиолетовое излучение с длиной волны 75 нм падает на цезиевую пластинку перпендикулярно ее поверхности. Определите длину волны, соответствующей электронам, вылетающим с поверхности пластины с максимальной скоростью, если работа выхода электронов из цезия равна 1.97 эВ.

Решение: Электронам соответствует длина волны де Бройля

$$\lambda_e = h / p = h / m v ,$$

где v - скорость движения электронов. Из формулы для фотоэффекта

$$h \cdot \nu = h \cdot c / \lambda_0 = A + m v^2 / 2 ,$$

где λ_0 - длина волны излучения, падающего на металл; A – работа выхода; m – масса электрона, находим скорость:

$$v = \sqrt{\frac{2}{m \left(\frac{h \cdot c}{\lambda_0} - A \right)}} .$$

Длина волны, таким образом, определяется по формуле:

$$\lambda_e = \frac{h}{\sqrt{2 \cdot m \cdot \left(\frac{h \cdot c}{\lambda_0} - A \right)}} .$$

После подстановки численных значений получаем:

$$\lambda_e = 3.2 \cdot 10^{-10} \text{ м}$$

Задача 6.2.3. Определить длину волны де Бройля для электронов в кинескопе цветного телевизора с ускоряющим напряжением 15 кВ. Надо ли учитывать волновые свойства электрона в кинескопе, если пучок электронов в

кинескопе имеет диаметр 10^{-3} м^2 ?

Решение: По гипотезе де Бройля микрочастица обладает волновыми свойствами. Причем длина волны рассчитывается по формуле:

$$\lambda_B = h / p$$

где h – постоянная Планка; p – импульс частицы.

Электрон, прошедший ускоряющую разность потенциалов U , набрал энергию $E_{кин} = e U = m V^2/2 = p^2/2m$. Отсюда импульс электрона:

$$p = m V = \sqrt{2 m e U}.$$

Длина волны де Бройля электрона будет:

$$\begin{aligned} \lambda_B &= h/p = h/\sqrt{2 m e U} = 6,62 \cdot 10^{-34} / \sqrt{2 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 10^3} = \\ &= 6,62 \cdot 10^{-34} / \sqrt{2 \cdot 9,1 \cdot 1,6 \cdot 15 \cdot 10^{-31-19+3}} = (6,62 / \sqrt{9,1 \cdot 1,6 \cdot 3}) \cdot 10^{-34+24} = \\ &1,002 \cdot 10^{-10} \approx 10^{-10} \text{ м} \end{aligned}$$

Так как длина волны де Бройля много меньше характерных размеров пучка $\lambda_B / d = 10^{-10}/10^{-3} = 10^{-10+3} = 10^{-7}$, то волновые свойства электрона не проявляются.

Ответ: $\lambda_B = 10^{-10}\text{ м}$, волновые свойства электрона не проявляются.

6.3. Задачи для самостоятельного решения

6.3.1. Определить длину волны де Бройля для электронов в кинескопе цветного телевизора с ускоряющим напряжением 15 кВ. Надо ли учитывать волновые свойства электрона в кинескопе, если пучок электронов в кинескопе имеет диаметр 10^{-3} м^2 ?

6.3.2. С какой скоростью должен двигаться электрон, чтобы его кинетическая энергия была равна энергии фотона с длиной волны $\lambda = 520 \text{ нм}$?

6.3.3. Какова неопределенность импульса нейтрона, заключенного в ядре? Размер ядра 10^{-15} м .

6.3.4. Определите энергию и импульс фотона, если соответствующая ему длина волны равна 1.6 пм?

6.3.5. Белый карлик радиусом 9000 км при гравитационном коллапсе превращается в нейтронную звезду радиусом 6 км. Вычислить период

излучения получившегося пульсара, если белый карлик совершал один оборот за 30 суток. При коллапсе было сброшено 35% массы.

6.3.6. С какой скоростью должен двигаться электрон, чтобы его импульс был равен импульсу фотона с длиной волны $\lambda = 520$ нм?

6.3.7. Определить расстояние в световых годах до галактики по ее красному смещению $\Delta\lambda = 10$ нм линии $\lambda = 486$ нм.

6.3.8. Энергия фотона 1 МэВ. Определите импульс фотона.

6.3.9. Определите красную границу фотоэффекта для платины, серебра и вольфрама, если работа выхода из данных металлов равна соответственно 6.3; 4.74; 4.5 эВ.

6.3.10. Определите длину волны де Бройля для протона с кинетической энергией 100 эВ.

6.3.11. Вычислить длину волны де Бройля для электрона в кинескопе, ускоряющая разность потенциалов которого 10 кВ. Надо ли учитывать волновые свойства электрона, если диаметр электронного пучка 1 мм?

6.3.12. Надо ли учитывать волновые свойства электронов в атоме водорода? Потенциал ионизации атома водорода 13,6 В, а размер порядка $0,53 \cdot 10^{-10}$ м.

6.3.13. Вычислить длину волны де Бройля для пучка электронов в электронном микроскопе, ускоряющая разность потенциалов которого 1 кВ. Проявляются ли волновые свойства электронов, если объект бактерии, размер которых порядка 1 мкм?

6.3.14. Пучок альфа-частиц диаметром 1 см прошел разность потенциалов 100 В. Надо ли учитывать волновые свойства альфа-частиц при распространении в этом пучке?

6.3.15. Вычислить длину волны де Бройля в молекулярном пучке атома водорода, имеющих скорость 10^3 м/с. Надо ли учитывать волновые свойства, если диаметр пучка 1 мм?

6.3.16. Элементарные частицы, которые называются резонансами, обладают неопределенностью массы покоя 200 МэВ. Чему равно время жизни

таких частиц?

6.3.17. Радиоактивный изотоп серебра ^{108}Ag распадается за 2,4 мин. Чему равна неопределенность его энергии?

6.3.18. Электрон движется со скоростью 10^6 м/с. Допустим, что мы можем измерить его положение с точностью до 10^{-12} м. Сравнить неопределенность импульса электрона Δp с самим значением его импульса p .

6.3.19. Теннисный мяч массой 200 г движется со скоростью 30 м/с. Если мы можем определить положение мяча с ошибкой, соизмеримой с длиной волны света, используемого при наблюдении (например, 500 нм) то как соотносится неопределенность в установлении его импульса с самим импульсом мяча?

6.3.20. Оценить неопределенность импульса протона в ядре. Размер ядра 10^{-15} м.

6.3.21. Определить длину волны де Бройля для электрона, летящего в ускорителе со скоростью $v = 3/5$ с.

6.3.22. Определить длину волны де Бройля для электрона, летящего в ускорителе со скоростью $v = 0,8$ с.

6.3.23. Вычислите длину волны де Бройля для электрона, движущегося со скоростью, равной 0.8 скорости света в вакууме. Учтите изменение массы при движении электрона.

7. Организация материи на химическом уровне

7.1. Общие сведения

В процессе *химических реакций* происходит превращение одних веществ в другие, отличные по химическому составу и строению. Химические реакции классифицируют по числу молекул, участвующих в элементарном акте (*моно-, бимолекулярные*), кинетическому механизму (*последовательные, параллельные, сопряженные*), характеру химического процесса (*разложение, окисление, полимеризация*) и т.п. Гомогенные химические реакции протекают в объеме фаз, а гетерогенные – на поверхности раздела фаз.

При образовании или разрушении молекул в результате химических реакций происходит только перестройка внешних электронных оболочек атомов. При этом атомные ядра *не подвергаются трансформации*, т.к. энергия химических реакций *недостаточна* для изменения структуры атомных ядер, т.е. для осуществления ядерных реакций.

В результате химических реакций число атомов химического элемента, входящих в состав молекулы, не изменяется.

Это определяет основной закон сохранения массы вещества в химическом процессе: *суммарная масса реагентов равна сумме продуктов реакции*. Основное условие – замкнутость системы.

В замкнутой системе полная энергия есть величина постоянная. Эти утверждения или законы и легли в основу составления материального и теплового балансов химической реакции.

Методика решения комбинированной задачи (химическая форма движения) состоит из составления *материального и теплового балансов*:

Материальный баланс.

Если происходит химическое взаимодействие, выражаемое химическим уравнением, то материальный баланс можно составить, пользуясь правилом пропорций и, имея молекулярные массы участвующих веществ и продуктов реакции. Из таких химических уравнений можно определить расходы сырья, основных материалов или, наоборот, по расходу сырья вычислить расходы получаемых продуктов с учетом степени превращения, выхода продукта селективности.

Результаты расчетов сводятся в таблицу материального баланса в колонки прихода и расхода материалов.

В приходной и расходной частях таблицы заполняются колонки в размерностях массового расхода (т/час, кг/с) и % (процентная доля) от всего количества реагентов, т.е. находится % каждой составляющей прихода (расхода) от всего прихода (расхода). Суммируя все эти проценты, мы должны получить в итоге 100%. Для газообразных продуктов рассчитываем объемные

расходы, учитывая термодинамические параметры и уравнения состояния идеального газа.

Тепловой баланс предполагает расчет тепловых потоков реагентов и продуктов реакции, теплового эффекта реакции, тепловых потерь и необходимого количества теплоносителя для поддержания постоянных условий реакции. В основе расчетов лежат законы сохранения энергии, теорема Гесса и уравнения Кирхгоффа для определения энтальпии преобразования и изменения теплоемкости реагентов. Рассчитанные величины вносятся в таблицу **теплового баланса**, а затем корректируется **таблица материального баланса** на величину используемого теплоносителя.

В ядерных реакциях при столкновении ядер между собой или с элементарными частицами, а также при распадах ядер **происходят превращения атомных ядер**, т.к. энергия ядерных реакций во много раз больше энергии химических. Вместе с тем в ядерных реакциях выполняются законы сохранения электрического заряда, барионного числа. Барионное число атомных ядер равно его массовому числу, т.е. общему числу нуклонов в ядре. Барионное число электрона равно 0, протона и нейтрона $=+1$ (для их античастиц $= -1$). Суммарный электрический заряд ядра определяется числом протонов в нем и выражается зарядовым числом Z , которое равно порядковому номеру химического элемента в таблице Менделеева. Зарядовое число изотопа обычно пишут слева от химического символа элемента (левый нижний индекс), а массовое число – справа (правый верхний индекс), например ${}_8\text{O}^{16}$ (кислород -16).

Радиус ядра $R = 1.23 \cdot 10^{-15} \cdot A^{1/3} \text{ м.}$

Энергия связи любого изотопа $\Delta W = c^2 \cdot \Delta m$, где c - скорость света в вакууме; Δm - дефект массы, определяемый разностью между массой частиц, составляющих ядро, и массой самого ядра, т.е.

$$\Delta m = Z \cdot m_p + (A - Z) \cdot m_n - m_{\text{я}},$$

где m_p – масса протона, m_n – масса нейтрона, $m_{\text{я}}$ – масса ядра.

Так как $m_{\text{я}} = m_A - Z \cdot m_e$, где m_A - масса изотопа и m_e – масса электрона, то

формулу для дефекта масс можно записать следующим образом: $\Delta m = Z \cdot m_{1H^1} + (A - Z) \cdot m_n - m_A$, где m_{1H^1} – масса изотопа водорода $1H^1$ и m_A – масса данного изотопа.

Изменение энергии при ядерной реакции определяется соотношением:

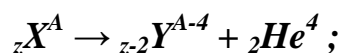
$$\Delta W = c^2 \cdot (\sum m_1 - \sum m_2),$$

где $\sum m_1$ – сумма масс частиц до реакции и $\sum m_2$ – сумма масс частиц после реакции. Если $\sum m_1 > \sum m_2$, то реакция идет с выделением энергии, при обратном соотношении $\sum m_1 < \sum m_2$ энергия поглощается.

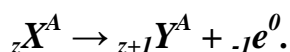
Закон радиоактивного распада $N = N_0 \cdot e^{-\lambda t}$, где N_0 – число радиоактивных атомов в начальный момент времени ($t=0$), λ – постоянная радиоактивного распада.

Активностью α радиоактивного изотопа называется произведение числа радиоактивных атомов на постоянную распада: $\alpha = \lambda \cdot N$. Активность определяет число распадов в единицу времени и уменьшается со временем по закону радиоактивного распада. Постоянная распада имеет смысл вероятности распада отдельного атома в единицу времени, а обратная ее величина $\tau = 1 / \lambda$ определяет среднее время жизни отдельного радиоактивного атома. Период полураспада T связан с постоянной распада соотношением: $\lambda = \ln 2 / T$ ($\ln 2 = 0.693$).

Альфа – распад происходит по следующей схеме:



Бета – распад с выделением электронов идет по другой схеме:



В ядерной физике в качестве единицы массы применяется атомная единица массы (а.е.м.); $1 \text{ а.е.м.} = 1.66 \cdot 10^{-27} \text{ кг} = 932 \text{ МэВ}$.

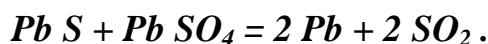
7.2. Примеры решения задач

Задача 7.2.1. В процессе реакционной плавки свинца происходит реакция между сульфидом и сульфатом свинца, т.е. $Pb S + Pb SO_4 = \dots + 2 SO_2$.

Написать недостающее обозначение в данной химической реакции. Какое

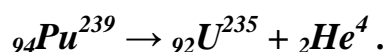
вещество получается в результате данной реакции?

Решение: В химической реакции число различных атомов элементов, входящих в состав молекул химических соединений, одинаково до и после реакции. Подсчет атомов серы и кислорода в химических соединениях до и после данной реакции показывает, что их число не изменилось. В данной реакции образуется два атома свинца. Следовательно, формула реакции имеет вид:



В результате реакционной плавки образуется чистый свинец.

Задача 7.2.2. С изотопом плутония ${}_{94}Pu^{239}$ происходит альфа – распад:



При данном распаде освобождается энергия, большая часть которой составляет кинетическую энергию альфа-частиц. Часть этой энергии остается у ядер урана, которые отдают ее, испуская гамма-излучение. Определите скорость, с которой вылетают альфа-частицы при распаде ${}_{94}Pu^{239}$, если считать, что гамма-излучение уносит 0.09 МэВ энергии. Массы изотопов, участвующих в реакции: $m_{Pu} = 239.15122\ a.e.m.$, $m_U = 235.0299\ a.e.m.$, $m_{He} = 4.0026\ a.e.m.$

Решение: Изменение массы при распаде изотопа плутония $\Delta m = m_{Pu} - (m_U + m_{He})$. После подстановки численных значений получим: $\Delta m = 0.00563\ a.e.m.$ Освобождающаяся энергия

$\Delta E = c^2 \cdot \Delta m$. После перехода к единицам энергии - МэВ, имеем:

$$\Delta E = 0.00563\ a.e.m. \cdot 931\ MeV/a.e.m. = 5.24\ MeV.$$

К альфа-частицам переходит часть энергии: $E_{He} = 5.24\ MeV - 0.09\ MeV = 5.15\ MeV = 5.15 \cdot 1.6 \cdot 10^{-13}\ Дж.$ ($1\ MeV = 1.6 \cdot 10^{-13}\ Дж$).

Из формулы для кинетической энергии: $m_{He} \cdot v^2 / 2 = E_{He}$ находим скорость v альфа частиц: $v = (2 \cdot E_{He} / m_{He})^{1/2} = 1.58 \cdot 10^7\ м/с$.

Задача 7.2.3. Составить материальный и тепловой балансы для химического процесса. Определить количество теплоносителя. Реакция имеет вид: $CH_4 \rightarrow C + H_2$

Расход метана = 100 м³ / с.

Степень превращения = 60%;

Потери сырья, водорода и тепла = **10%**;

Потери углерода = **2%**;

Температура сырья = **25 С**;

Температура реакции = **1450 С**;

Удельная теплота фазового перехода теплоносителя = **1000кдж/кг**.

Теплофизические характеристики:

Таблица 7.2.1

Вещество	Энтальпия Образования	Ср = a + b·T+c/T2		
		a	b·103	c·10-5
Метан	-75	18	61	0
Углерод	0	17	4	0
Водород	0	27	3	0
	Кдж/моль	Дж/(моль град Кельвина)		

Решение: $\text{CH}_4 = \text{C} + 2\text{H}_2$

1. Определяем молярный объем для продуктов реакции на основе уравнения состояния идеального газа:

$$V_m^t = V_m^0 \cdot T_r / T_0 = 22.4 \cdot 1723 / 298 = 129.5 \text{ дм}^3;$$

2. Определяем массовый расход метана благодаря взаимосвязи объемного и массового расходов:

$$G_{\text{мет}} = V_{\text{мет}} \cdot M_{\text{мет}} / V_m^0 = 100 \cdot 16 / 22.4 = 71.43 \text{ кг/с или } 257.14 \text{ тонн/час};$$

3. Определяем потери метана и расход метана, поданного в зону реакции:

$$G_{\text{потеримет}} = 0.1 \cdot 257.14 = 25.7 \text{ т/час};$$

$$G_{\text{реакмет}} = 257.14 - 25.7 = 231.4 \text{ т/час};$$

4. Определяем расход метана, подвергаемого пиролизу:

$$G_{\text{пирмет}} = 231.4 \cdot 60 / 100 = 138.8 \text{ тонн/час};$$

5. Определяем расход метана, не вступившего в реакцию:

$$G_{\text{невступметан}} = 231.4 - 138.8 = 92.6 \text{ тонн/час};$$

6. Определяем расход полученного углерода:

$$G_{\text{углерод}} = 138.8 \cdot 12 / 16 = 104.1 \text{ тонн/час};$$

7. Определим потери графита:

$$G_{\text{потериуглерод}} = 0.02 \cdot 104.1 = 2.08 \text{ тонн/час};$$

8. Определим расход оставшегося графита:

$$G_{\text{углерод}} = 104.1 - 2.08 = 102.02 \text{ тонн/час};$$

9. Определяем расход водорода:

$$G_{\text{водород}} = 138.8 * 4 / 16 = 34.7 \text{ тонн/час};$$

10. Определяем потери водорода:

$$G_{\text{потери водорода}} = 0.1 * 34.7 = 3.5 \text{ тонн/час};$$

11. Определяем расход оставшегося водорода:

$$G_{\text{кводород}} = 34.7 - 3.5 = 31.21 \text{ тонн/час};$$

12. Определяем объемный расход газообразных реагентов и продуктов реакции:

$$V_{\text{кводород}} = 31.21 \cdot 129.5 / (2 \cdot 3.6) = 561.2 \text{ м}^3 / \text{с}.$$

$$V_{\text{невступ метан}} = 92.6 \cdot 129.5 / (16 \cdot 3.6) = 208.9 \text{ м}^3 / \text{с}.$$

$$V_{\text{потери метан}} = 25.7 \cdot 22.4 / (16 \cdot 3.6) = 10 \text{ м}^3 / \text{с}.$$

$$V_{\text{потери водорода}} = 3.5 \cdot 129.5 / (2 \cdot 3.6) = 63 \text{ м}^3 / \text{с}.$$

Заполним таблицу материального баланса:

Таблица 7.2.2

Материальный баланс химического процесса

Приход					Расход				
№	Вещество	G т/час	V м3/с	%	№	Вещество	G т/час	V м3/с	%
1	Метан	257.14	100	100	1	Углерод	102.02		39.7
					2	Водород	31.2	561.2	12.6
					3	Метан	92.6	208.9	36
						Потери			
					4	Метан	25.7	10	10
					5	Водород	3.5	63	0.9
					6	Углерод	2.08		0.81
	Итого:	257.14		100		Итого:	257.1		100

13. Определяем нормальный молярный тепловой эффект реакции:

$$\Delta H_0 = \sum_i \nu_i \cdot \Delta H_{\text{обр.}i}^{\text{продукта}} - \sum_i \nu_i \cdot \Delta H_{\text{обр.}i}^{\text{сырья}}$$

$$\Delta H_0 = 1 * 0 + 2 * 0 - 1 * (-75) = 75 \text{ Кдж / пробег};$$

14. Определяем молярные и удельные теплоемкости сырья и продуктов:

$$C_{\text{CH}}^0 = 18 + 61 \cdot 300 / 1000 = 36 \text{ дж / (моль} \cdot \text{град)} = 2 \text{ Кдж / (кг} \cdot \text{град)};$$

$$C_{\text{CH}}^t = 18 + 61 \cdot 1700 / 1000 = 120 \text{ дж / (моль} \cdot \text{град)} = 7 \text{ Кдж / (кг} \cdot \text{град)};$$

$$C_{\text{C}}^t = 17 + 4 \cdot 1700 / 1000 = 24 \text{ дж / (моль} \cdot \text{град)} = 2 \text{ Кдж / (кг} \cdot \text{град)};$$

$$C_{\text{H}}^t = 27 + 3 \cdot 1700 / 1000 = 32 \text{ дж / (моль} \cdot \text{град)} = 16 \text{ Кдж / (кг} \cdot \text{град)};$$

15. Определяем изменение температуры:

$$\Delta T = T_p - T_0 = 1700 - 300 = 1400;$$

16. Определяем изменение теплоемкости:

$$\Delta C = \sum_i q_i \cdot C_i_{\text{продукта}} - \sum_i q_i \cdot C_i_{\text{сырья}}$$

$$\Delta C = 1 \cdot 24 + 2 \cdot 32 - 1 \cdot 36 = 24 + 64 - 36 = 52 \text{ дж / (моль} \cdot \text{град)};$$

17. Определяем молярный тепловой эффект при температуре реакции:

$$\Delta H_T = \Delta H_0 + \Delta C \cdot \Delta T$$

$$\Delta H_T = 75000 + 1400 \cdot 52 = 150 \text{ Кдж / пробег}; \text{ Следовательно - Реакция}$$

эндотермическая, т.е. идет с поглощением тепла и запись этого вклада в таблицу теплового баланса осуществляется в части «Расход».

18. Определяем химический эквивалент реакции:

$$Q_{\text{хр}} = \Delta H_T \cdot G / \mu = 150 \cdot 28.34 / 12 = 354 \text{ Мвт};$$

Примечание: При решении задачи по расчету материального баланса и температурного режима химической реакции работа на этом и завершается.

19. Определим энтальпии (теплосодержание) сырья и продуктов:

Примечание: Энтальпия или теплосодержание рассчитывается, как произведение массового расхода рассматриваемого реагента на его теплоемкость при температуре реагента и абсолютную температуру.

$$H_{\text{CH}_4} = G \cdot C \cdot T = 257.14 \cdot 2 \cdot 300 / 3.6 = 43 \text{ Мвт};$$

$$H_{\text{CH}_4\text{невст}} = G \cdot C \cdot T = 92.6 \cdot 7 \cdot 1700 / 3.6 = 306 \text{ Мвт};$$

$$H_{\text{C}} = G \cdot C \cdot T = 102.02 \cdot 2 \cdot 1700 / 3.6 = 96 \text{ Мвт};$$

$$H_{\text{H}} = G \cdot C \cdot T = 31.2 \cdot 16 \cdot 1700 / 3.6 = 236 \text{ Мвт};$$

$$H_{\text{CH}_4\text{потери}} = G \cdot C \cdot T = 25.7 \cdot 2 \cdot 300 / 3.6 = 4.3 \text{ Мвт};$$

$$H_{\text{Cпотери}} = G \cdot C \cdot T = 2.08 \cdot 2 \cdot 1700 / 3.6 = 2 \text{ Мвт};$$

$$H_{\text{Hпотери}} = G \cdot C \cdot T = 3.5 \cdot 16 \cdot 1700 / 3.6 = 26 \text{ Мвт}.$$

Заполним таблицу теплового баланса:

Таблица 7.2.3

Тепловой баланс химического процесса

Приход				Расход			
№	Вещество	Теплота МВт	%	№	Вещество	Теплота МВт	%
1	Метан	43	4	1	Углерод	96	8.5
				2	Водород	236	21
				3	Метан	306	27
					Потери		
				4	Метан	4.3	0.4
				5	Водород	26	2.3
				6	Углерод	2	0.2
				7	Хим.эквив.	354	31
				8	Теплов.пот.	102	9
2	Теплоноситель	1083	96				
	Итого:	1126	100		Итого:	1126	100

14. Определим массовый расход теплоносителя:

$$Q_{ТН} = G_{ТН} \cdot r_s$$

$$G_{ТН} = Q_{ТН} / r_s = 1083 \text{ МВт} / 1000 \text{ Кдж/кг}$$

$$1083 \text{ кг / с} = 3900 \text{ тонн в час.}$$

21 . Скорректируем таблицу материального баланса:

Таблица 7.2.4

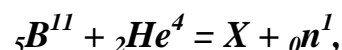
Материальный баланс химического процесса

Приход					Расход				
№	Вещество	G т/час	V м3/с	%	№	Вещество	G т/час	V м3/с	%
1	Метан	257.14	100	6	1	Углерод	102.02		2
					2	Водород	31.2	561.2	1
					3	Метан	92.6	208.9	2
						Потери			
					4	Метан	25.7	10	1
					5	Водород	3.5	63	0.1
					6	Углерод	2.08		0.1
2	Теплоноситель Газ	3900		94	7	Теплоноситель Жидкость	3900		94
	Итого:	257.14		100		Итого:	257.1		100

Задача 7.2.4. При бомбардировке альфа-частицами ядер изотопа бора-11 образуются нейтроны. Написать уравнение соответствующей ядерной реакции. Какой изотоп образуется в результате этой реакции.

Решение: Зарядовые Z и массовые A числа *альфа-частицы, изотопа бора-11* и *нейтрона* соответственно равны: $Z_\alpha = 2$; $Z_B = 5$; $Z_n = 0$; $A_\alpha = 4$; $A_B = 11$; $A_n = 1$.

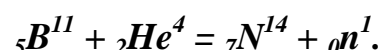
С учетом обозначения химических элементов можно написать:



где X - изотоп неизвестного элемента.

Так как суммарные зарядовые и массовые числа в отдельности до и после ядерной реакции остаются неизменными, то согласно законам сохранения электрического заряда и барионного числа для неизвестного изотопа X после несложного подсчета получаем $Z = 7$ и $A = 14$.

Таким образом, ядерная реакция имеет вид:



В результате этой ядерной реакции образуется изотоп азот – 14.

Задача 7.2.5. За какое время распадется 20% атомов радиоактивного изотопа, если его период полураспада равен 4 суткам?

Решение: Из закона радиоактивного распада: $N = N_0 \cdot e^{-\lambda t}$ определим время распада t ; для чего сделаем следующие простые преобразования (логарифмирование):

$$N/N_0 = e^{-\lambda t} \rightarrow N_0/N = e^{\lambda t} \rightarrow \ln(N_0/N) = \lambda \cdot t \rightarrow t = (\ln(N_0/N)) / \lambda.$$

С учетом связи между постоянной распада λ и периодом полураспада T :

$$\lambda = \ln 2 / T, \text{ находим } t = T \cdot \ln(N_0/N) / \ln 2.$$

По условию за время t распадается 20% от начального числа атомов. Следовательно, $N = 0.8 \cdot N_0$ и $N_0 / N = 1.25$.

Подставляя численные значения в формулу для t , получим:

$$t = 4 \cdot \ln 1.25 / \ln 2 = 4 \cdot 0.223 / 0.693 = 1.29 \text{ суток} = 30 \text{ час } 55 \text{ мин.}$$

Задача 7.2.6. Какова кинетическая энергия α -частиц, вылетающих в результате распада ${}_{86}Rn^{222} \rightarrow {}_{84}Po^{218} + {}_2He^4$

Решение: В результате α -распада ядер более тяжелые обычно покоятся, а α -частицы вылетают из ядер и обладают значительной кинетической энергией.

В процессах распада полная кинетическая энергия частиц сохраняется.

$$E_{10} = E_{20} + E_{\alpha 0} + E_{\text{кин}}$$

Поэтому кинетическая энергия α -частиц равна:

$$E_{\text{кин}}\alpha = E_{10} - E_{20} - E_{\alpha 0}$$

или

$$E_{\text{кин}} = (M_{10} - M_{20} - m_{\alpha 0}) \cdot c^2,$$

где $E_{10} = M_{10} \cdot c^2$ – энергия покоя распадающегося ядра,

M_{10} – масса покоя распадающегося ядра,

$E_{20} = M_{20} \cdot c^2$ – энергия покоя получившегося ядра,

M_{20} – масса покоя получившегося ядра,

$E_{\alpha 0}$ – энергия покоя α -частицы,

$m_{\alpha 0}$ – масса покоя α -частицы.

Представляя массы покоя частиц в килограммах и умножая на квадрат скорости света, получим кинетическую энергию α -частиц в джоулях.

Но в таблицах обычно указываются массы элементов в атомных единицах массы, а энергия в ядерной физике определяется в мегаэлектрон-вольтах (МэВ $= 10^6$ эВ $= 1,6 \cdot 10^{-13}$ Дж).

В этих единицах $c^2 = 9 \cdot 10^{16} \text{ м}^2/\text{с}^2 = 931 \text{ МэВ/а.е.м.}$

Тогда кинетическая энергия α -частиц, выражаемая в мегаэлектронвольтах, равна

$$E_{\text{кин}} = (M_{10} - M_{20} - m_{\alpha 0}) \cdot 931.$$

7.3. Задачи для самостоятельного решения

7.3.1. Написать недостающее обозначение в реакции окисления железа с образованием ржавчины: $4 \text{ Fe} + \dots = 2 \text{ Fe}_2\text{O}_3$. С каким веществом при этом вступает в реакцию железо?

7.3.2. Написать недостающую химическую формулу вещества в реакции: $8 \text{ Al} + 3 \text{ Fe}_3\text{O}_4 = 4 \text{ Al}_2\text{O}_3 + \dots$. Какое вещество образуется в результате данной химической реакции?

7.3.3. Написать недостающее обозначение в реакции получения серной кислоты: $SO_3 + \dots = H_2SO_4$. С каким веществом вступает в реакцию серный ангидрид?

7.3.4. Написать недостающую химическую формулу вещества в реакции: $Fe_2O_3 + 3 CO = 2 Fe + \dots$. Какое вещество образуется в результате химической реакции восстановления железа?

7.3.5. Определите число протонов и нейтронов, входящих в состав двух изотопов углерода: 1) ${}^6C^{14}$, 2) ${}^6C^{15}$ и двух изотопов магния: ${}^{12}Mg^{24}$, ${}^{12}Mg^{25}$.

7.3.6. Во сколько раз радиус ядра урана ${}_{92}U^{238}$ больше радиуса ядра протона?

7.3.7. Какова плотность ядерного вещества, выраженная числом нуклонов в 1 см^3 и в кг/м^3 ? Считать, что в ядре с массовым числом A все нуклоны плотно упакованы в сферическом объеме.

7.3.8. Составить материальный баланс процесса и рассчитать тепловой режим реактора ($Q_{\text{хр}}$), если процесс характеризуется химической реакцией: $Fe_2O_3 + CO = Fe + CO_2$. Расход оксида железа – 172,8 тонн в сутки; Степень превращения $CO = 90\%$; Потери $Fe_2O_3 = 10\%$; Температура сырья = 300К; Температура реакции = 627 $^{\circ}\text{C}$;

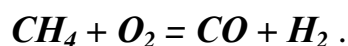
Таблица 7.3.1

Теплофизические данные

Вещество	Теплота образования	Ср = а + в*Т	
		А	в*103
Fe2O3	-800	100	70
CO	-100	30	4
Fe	0	10	20
CO2	-400	40	10
	Кдж/моль	Дж / (моль* град)	

Атомные массы: железо=56, кислород=16, углерод=12.

7.3.9. Составить материальный и тепловой балансы процесса:



Производительность по H_2 – 86.4тонн в сутки

Степень превращения CH_4 – 80%;

Температура сырья = 300K;

Температура реакции = 427⁰C;

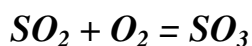
Таблица 7.3.1

Теплофизические данные

Вещество	Теплота образования	Ср = а + в*Т	
		а	в*103
CH4	-70	20	60
CO	-100	30	4
O2	0	30	3
H2	0	30	3
	Кдж/моль	Дж / (моль* град)	

Атомные массы: С- 12; Н-1; О-16

7.3.10. Составить материальный и тепловой балансы процесса:



Расход двуокиси серы = 2520 м³ в час. Степень превращения O₂ = 90%;

Температура сырья = 300K; Температура реакции = 427⁰C;

Таблица 7.3.1

Теплофизические данные

Вещество	Теплота образования	Ср = а + в*Т	
		а	в*103
SO2	-300	40	10
O2	0	30	3
SO3	-400	60	30
	Кдж/моль	Дж / (моль* град)	

Атомные массы: серы =32,кислорода=16.

7.3.11. Составить материальный баланс процесса. Рассчитать тепловой режим реактора (Q_p). $NH_3 + O_2 = N_2O + H_2O$. Расход аммиака -9488 м³/час. Потери NH₃ = 10%; Температура сырья = 300K; Температура реакции = 727⁰C;

Теплофизические данные

Вещество	Теплота образования	Ср = а + в*Т	
		а	в*103
N2O	80	50	10
H2O	-200	30	10
NH3	-50	30	30
O2	0	30	3
	Кдж/моль	Дж / (моль* град)	

Атомные массы: водорода =1, азота=14, кислорода=16.

7.3.12. Составить материальный баланс процесса. Рассчитать тепловой режим реактора . $C_2H_5OH = C_4H_6 + H_2O + H_2$, Производительность по H_2 - 268800м³/час; Степень превращения - 50%; Температура сырья = 300К; Температура реакции = 227⁰С;

Таблица 7.3.1

Теплофизические данные

Вещество	Теплота образования	Ср = а + в*Т	
		а	в*103
C2H5OH	-200	20	200
H2	0	30	3
C4H6	100	-3	300
H2O	-200	30	10
	Кдж/моль	Дж / (моль* град)	

Атомные массы: водорода = 1, углерода =12, кислорода - 16.

7.3.13. Составить материальный и тепловой балансы процесса:

$HNO_2 = HNO_3 + NO + H_2O$; Производительность по NO – 16129 м3/час; Степень превращения - 80%; Температура сырья = 300К; Температура реакции = 827⁰С;

Таблица 7.3.1

Теплофизические данные

Вещество	Теплота образования	Ср = а + в*Т + с / Т2		
		а	в*103	с*10-5
NO	90	30	4	-
H2O	-200	30	10	-
HNO2	-100	30	2	-
HNO3	-300	30	3	-
	Кдж/моль	Дж / (моль* град)		

Атомные массы: водорода =1, азота = 14, кислорода=16.

7.3.14. Определите энергию связи ядра атома гелия ${}_2\text{He}^4$, если масса изотопа ${}_2\text{He}^4$ равна 4.00388 а.е.м., масса протона $m_p = 1.00814$ а.е.м., масса нейтрона $m_n = 1.00899$ а.е.м.

7.3.15. Определите энергию связи, приходящуюся на один нуклон в ядре атома бериллия ${}_4\text{Be}^9$, если масса изотопа бериллия ${}_4\text{Be}^9$ равна 9.01505 а.е.м.

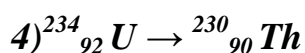
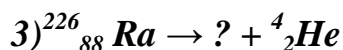
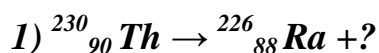
7.3.16. Найти энергию, освобождающуюся при ядерной реакции: ${}_3\text{Li}^7 + {}_1\text{H}^1 \rightarrow {}_2\text{He}^4 + {}_2\text{He}^4$, если масса изотопа ${}_3\text{Li}^7$ равна 7.01823 а.е.м.

7.3.17. Определите энергию, выделяющуюся при термоядерной реакции: ${}_1\text{H}^2 + {}_2\text{He}^3 \rightarrow {}_1\text{H}^1 + {}_2\text{He}^4$, если масса изотопа ${}_2\text{He}^3$ равна 3.01699 а.е.м.

7.3.18. Сколько атомов радона распадается за 1 сутки из 10^6 атомов?

7.3.19. Найти постоянную распада радона, если известно, что число атомов радона уменьшается за 1 сутки на 18.2%.

7.3.20 – 7.3.24. Дописать ядерную реакцию и определить кинетическую энергию частиц, вылетающих в результате распада:



7.3.25. При бомбардировке изотопа ${}_{7}\text{N}^{14}$ нейтронами получается изотоп ${}_{6}\text{C}^{14}$, который оказывается бета-радиоактивным. Написать уравнение обеих реакций.

8. Симметрия и законы сохранения (макроскопические процессы)

8.1. Общие сведения

Для макроскопических процессов, таких как, гидромеханических, тепловых, массообменных используют одно или несколько уравнений материального баланса. Рассмотрим подобные уравнения для ряда таких процессов.

Отстаивание используется для разделения жидких и газовых неоднородных систем, которые состоят из двух фаз. Известны четыре фазовых состояния: твердое, жидкое, газообразное и плазменное. В качестве неоднородных систем можно назвать: суспензию, эмульсию: дым, пену, туман. Подобные системы имеют место в промышленном производстве и в быту.

Суспензия – это неоднородная система состоящая из внутренней фазы в виде твердых частиц и внешней фазы в виде жидкости

Эмульсия – это неоднородная система состоящая из внутренней фазы в виде жидкости и внешней фазы в виде другой жидкости.

Пена - это неоднородная система состоящая из внутренней фазы в виде газа и внешней фазы в виде жидкости.

Туман - это неоднородная система состоящая из внутренней фазы в виде жидкости и внешней фазы в виде газа.

Пыль, дым – это неоднородная система состоящая из внутренней фазы в виде твердых частиц и внешней фазы в виде газа .

Очень часто возникает необходимость в разделении таких неоднородных систем. Такая неоднородная система как суспензии состоит из твердой распределенной фазы и жидкой - сплошной фазы. Для разделения подобных жидких неоднородных систем применяют фильтрование и осаждение с использованием потенциального поля сил. Потoki вещества, возникающие при отстаивании, изображены на рис. 8.1:



Рис.8.1. Функциональная схема отстаивания.

Введем следующие обозначения: G_F , G_O , G_C - расходы, соответственно

исходной суспензии, осветленной жидкости, сгущенной суспензии, (кг/с); b_F , b_O , b_C - концентрации твердого вещества соответственно исходной смеси, осветленной жидкости, сгущенной суспензии, %. Тогда можно записать два уравнения материального баланса:

Первое уравнение - баланс по потокам - $G_F = G_O + G_C$,

второе уравнение - баланс по твердому веществу -

$$\frac{G_F \times b_F}{100} = \frac{G_O \times b_O}{100} + \frac{G_C \times b_C}{100}.$$

Уравнения материального баланса идентичны для всех процессов разделения неоднородных систем таких, как отстаивание, гравитационное и инерционное разделение, фильтрование, центрифугирование, магнитная сепарация и электроочистка.

Выпаривание - тепловой процесс, предназначенный для повышения концентрации растворов твердых веществ, растворов солей, щелочей. При выпаривании под действием тепловой энергии вода (растворитель) превращается в пар, благодаря чему концентрация раствора повышается. **Выпаривание** проходит при **температуре кипения** растворителя, а **испарение** - при **любой температуре**. Потоки, имеющие место при выпаривании, представлены на рис.8.2. Введем следующие обозначения: G_1 , G_2 -расходы соответственно исходного и упаренного растворов, в кг/с ; W -расход вторичного пара, в кг/с ; X_1 , X_2 - концентрация твердого вещества в исходном и упаренном растворах, % (массовые).

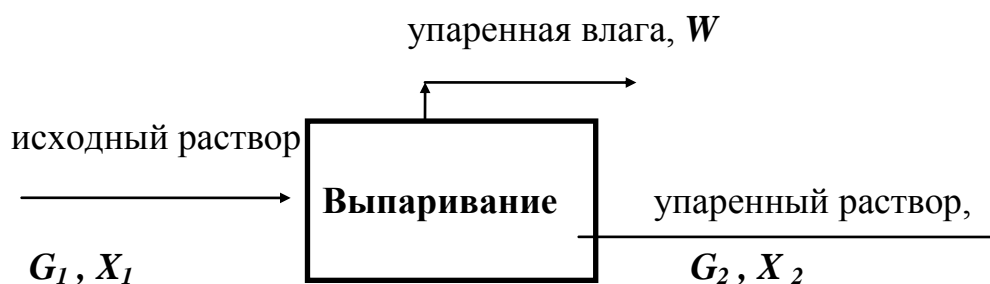


Рис.8.2. Функциональная схема выпаривания.

Тогда уравнения материального баланса для выпаривания будут иметь вид:

$$G_1 = G_2 + W \text{ - по потокам}$$

$$G_1 \times X_1 / 100 = G_2 \times X_2 / 100 \text{ - по твердому веществу.}$$

Абсорбция - массообменный процесс, заключающийся в поглощении газов или паров жидкими поглотителями - абсорбентами. Данный процесс широко используется для чистки, разделения газов, при рекуперации растворителей.

Потоки, имеющие место при абсорбции, показаны на рис.8.3.



Рис.8.3. Функциональная схема абсорбции.

Введем следующие обозначения: $L_H, L_K; G_H, G_K$ - расходы соответственно поглотителя и газовой смеси, $кг/с$. X_H, X_K - концентрации поглощаемого компонента соответственно в исходном (чистом) абсорбенте и загрязненном поглотителе или на входе в аппарат и на выходе из аппарата, % (масс.). Y_H, Y_K - концентрация поглощаемого компонента соответственно в исходной и уходящей газовой смеси, % (массовые). Тогда уравнение материального баланса будет иметь вид :

$$G_H + L_H = G_K + L_K,$$

$$G_H \times Y_H + L_H \times X_H = G_K \times Y_K + L_K \times X_K.$$

При $G_H = G_K = G$ и $L_H = L_K = L$, что возможно при переходе между фазами незначительного количества вещества, из системы уравнений после преобразований остается только одно уравнение:

$$G (Y_n - Y_k) = L (X_k - X_n).$$

Данное уравнение представляет собой баланс по поглощаемому компоненту.

Ректификация - массообменный процесс, заключающийся в разделении гомогенных жидких смесей или сжиженных газов перегонкой в результате противоточного взаимодействия паровой и жидкой фаз. Потоки, имеющие место при непрерывной ректификации показаны на рис.8.4.

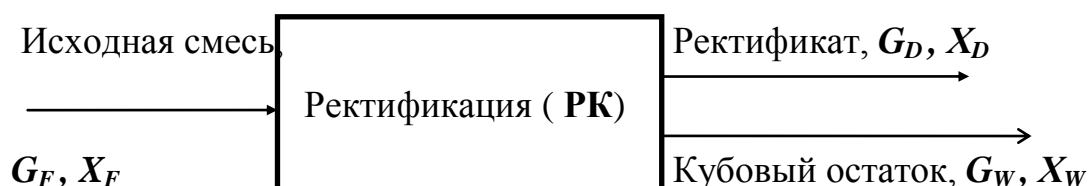


Рис.8.4. Функциональная схема ректификации.

Введем обозначения: **РК** - ректификационная колонна, G_F , G_D , G_W - соответственно расходы исходной смеси, ректификата, кубового остатка, кг/с; X_F , X_D , X_W - концентрации легколетучего компонента соответственно в исходной смеси, ректификате, кубовом остатке, % (массовые). Тогда уравнения материального баланса имеют вид:

Первое уравнение - **баланс по потокам** - $G_F = G_D + G_W$,

второе уравнение - **баланс по легколетучему компоненту**,

$$G_F \times X_F = G_D \times X_D + G_W \times X_W.$$

Сушка - тепло-массообменный процесс, предназначенный для снижения влажности материалов путем подвода тепла нагретым газом (воздухом). Воздух является теплоносителем. Потоки, имеющие место при конвективной сушке (**КС**), показаны на рис.8.5.

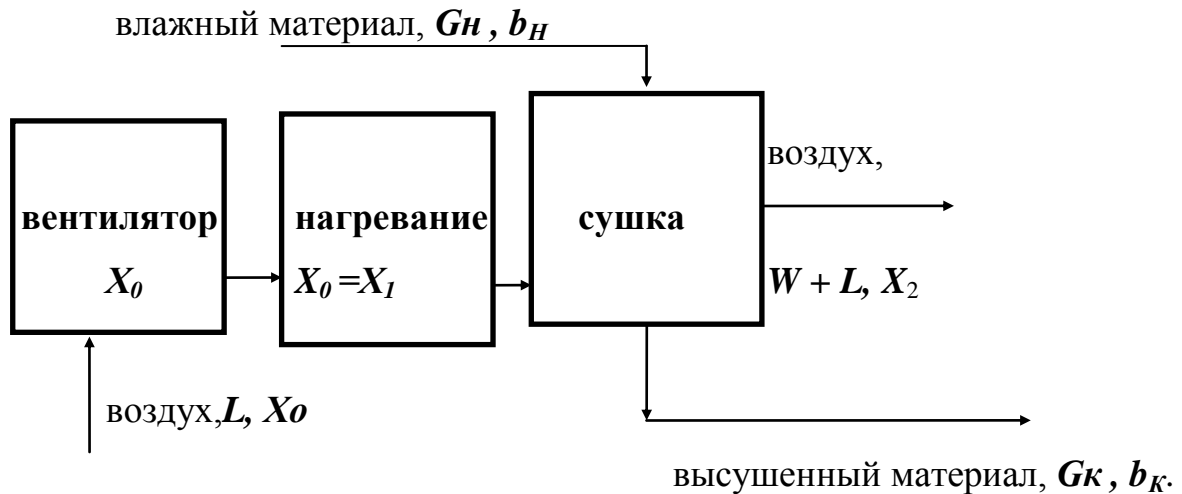


Рис. 8.5. Процесс конвективной сушки.

Воздух вентилятором подается в калорифер (теплообменник), нагревается и поступает в сушилку, куда входит влажный материал в количестве G_H , с влажностью b_H . После сушилки получаем высушенный материал в количестве G_K , с влажностью b_K . Воздух перед сушилкой имеет влагосодержание X_1 , а после сушилки - X_2 . При нагревании воздуха в калорифере влагосодержание не меняется, т.е. $X_1 = X_2$. Под влагосодержанием X понимают количество пара (жидкости) в $кг$, приходящегося на $1кг$ абсолютно сухого газа (воздуха). Тогда уравнения материального баланса имеют вид:

$$G_H = G_K + W,$$

$$\frac{G_H(100 - b_H)}{100} = \frac{G_K(100 - b_K)}{100}$$

где: W - расход испаряемой влаги, в $кг/с$. Первое уравнение выражает баланс по потокам, второе - баланс по твердому веществу. Для газовой фазы (воздуха) можно записать уравнение материального баланса по влаге:

$$L X_1 - W = L X_2,$$

откуда расход абсолютно сухого воздуха, L , в $кг/с$ равен:

$$L = W / (X_2 - X_1).$$

Теплообмен – это процессы, связанные с передачей энергии в виде тепла, которые сопровождаются, либо изменением температуры, либо изменением агрегатного состояния, либо совершением работы. При этих процессах тепло

передается от одного тела (горячий теплоноситель) другому (холодный теплоноситель). К тепловым процессам относят: нагревание, охлаждение, испарение, конденсация, плавление, затвердевание, выпаривание, получение искусственного холода. Передача тепла от одного тела к другому происходит посредством **теплопроводности, конвекции и излучением**.

Для протекания процесса передачи тепла необходимо наличие некоторой **разности температур** между **горячим** и **холодным** теплоносителями – движущей силы процесса теплопередачи – температурного напора.

Процесс теплообмена описывается **уравнением теплопередачи**:

$$Q = k \Delta t_{cp} S \tau,$$

где Q – количества тепла, k – коэффициент теплопередачи, Δt_{cp} – средняя разность температур, S – поверхность теплообмена, τ – время, Q/τ – тепловая нагрузка или мощность.

Количество тепла, передаваемое в единицу времени от одного тела к другому, называется **тепловым потоком** (Дж/с, Вт).

При теплообмене между теплоносителями происходит уменьшение **энтальпии (теплосодержания)** горячего теплоносителя увеличение **энтальпии** холодного теплоносителя.

Количество теплоты, передаваемое от горячего теплоносителя холодному составляет Q_2 и называется **тепловой нагрузкой**:

$$Q_2 = G(I_1 - I_2) = g(i_2 - i_1) + Q_n = Q_x + Q_n$$

Обычно в теплообменниках $Q_n \approx 2-3\%$ от тепловой нагрузки.

Теплосодержание (I, i) определяется как произведение **теплоемкости** на **температуру**, причем произведение **количества теплоносителя** на **теплоемкость** называется **водяным эквивалентом** (W, w):

$$I = C T, i = c t, W = G C, w = g c.$$

$$Q_2 = G C (T_n - T_k) = W \Delta T;$$

$$Q_x = g c (t_k - t_n) = w \Delta t;$$

Температура **холодного** теплоносителя в процессе теплообмена **увеличивается**, т.е. $t_k > t_n$;

Температура *горячего* теплоносителя в процессе теплообмена *уменьшается*, т.е. $T_n > T_k$; $T > t$.

Эти *изменения* отражаются на *температурной диаграмме* рис.8.6. Обозначение теплообменника на функциональной схеме изображено на рис.8.7.

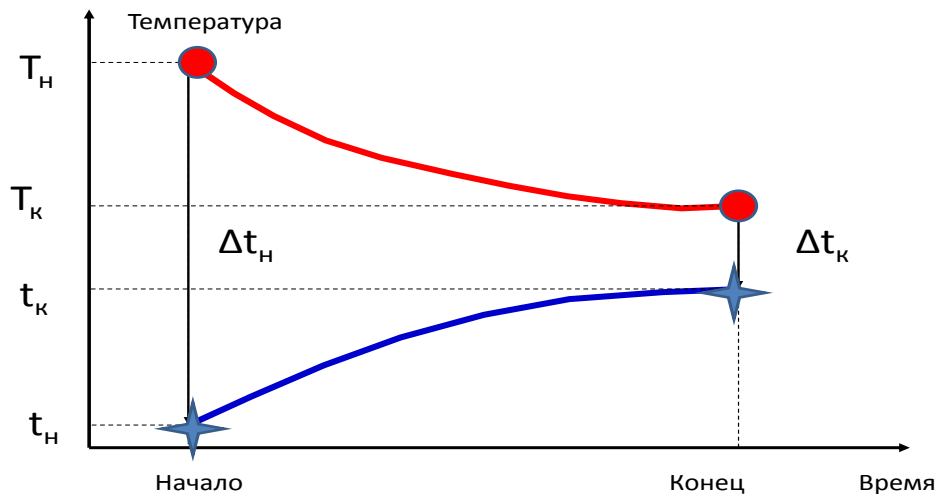


Рис.8.6. Температурная диаграмма теплообмена

Холодный теплоноситель

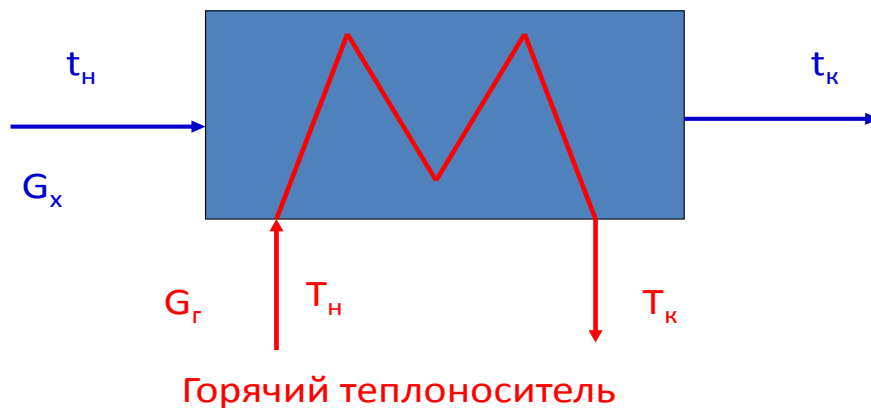


Рис. 8.7. Типовая схема теплообменника

При *фазовом переходе* величины I_1 , I_2 в *уравнении теплового баланса* представляют собой *энтальпии* поступающей фазы и уходящей другой фазы вещества, что предполагает, по крайней мере, *изменение агрегатного состояния*. Изменения агрегатного состояния происходит при *постоянной температуре*, но, однако, требует *подвода* или *отвода теплоты фазового перехода*.

В процессе теплообмена горячие и холодные теплоносители могут двигаться по-разному: **прямотоком**, **противотоком** и перекрестным током. С особенностями взаимного движения теплоносителей связана эффективность теплообмена.

Эффективность теплообмена определяется средней разностью температур между холодным и горячим теплоносителями.

$$\Delta t_{cp} = (\Delta t_{\theta} + \Delta t_{\mu}) / 2 \text{ если } \Delta t_{\theta} / \Delta t_{\mu} \leq 2;$$

$$\Delta t_{cp} = (\Delta t_{\theta} - \Delta t_{\mu}) / \ln (\Delta t_{\theta} / \Delta t_{\mu}) \text{ если } \Delta t_{\theta} / \Delta t_{\mu} > 2.$$

Методика решения комбинированной задачи расчета макроскопического процесса:

1. Согласно содержания задачи **составляется функциональная схема** типового процесса. При этом на схему наносятся все исходные данные задания;

2. **Составляются уравнения** материального и энергетического(теплового) **баланса**;

3. **Отображается температурная диаграмма** теплового процесса и **определяется средняя движущая сила процесса** – разность температур горячего и холодного теплоносителей.

4. **Рассчитываются массовые и тепловые потоки и определяется поверхность теплообмена.**

5. Определяется, если возможно, **оптимальный вариант**.

6. В конце выполненной работы следует **привести ответы** на поставленные вопросы данной задачи, в **той размерности**, какая требуется

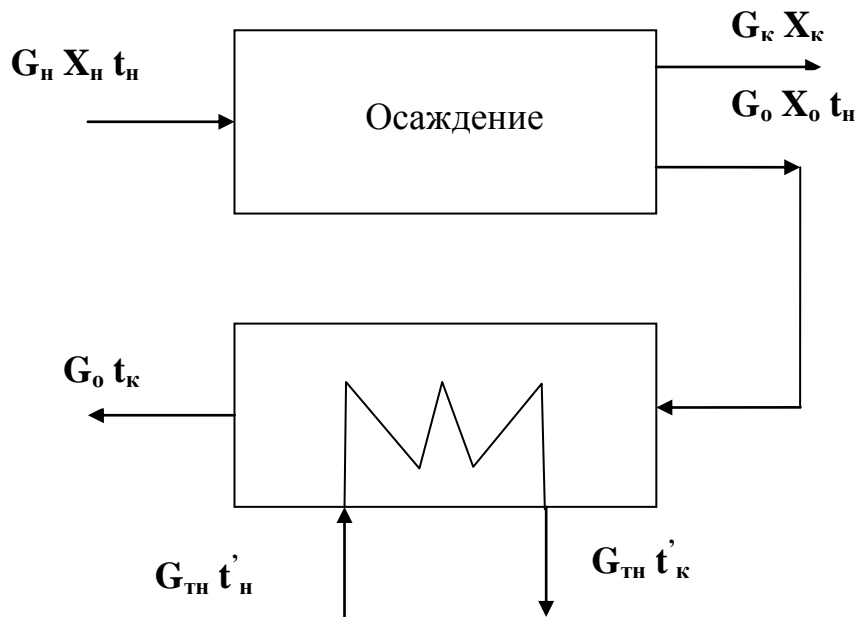
8.2. Примеры решения задач

Задача 1. Исходная суспензия направляется в отстойник непрерывного действия. Концентрация твердой фазы в исходной суспензии – X_n , % ; в осветленной жидкости – X_0 , % ; в сгущенной суспензии – X_k , % . Расход исходной суспензии – G_n , *т/час*. Осветленная жидкость нагревается от t_n , °C до t_k , °C. В качестве теплоносителя используется горячая вода с начальной температурой t'_n , °C и с конечной температурой t'_k , °C. Теплоемкость

осветленной жидкости – C_1 , $\text{КДж} / (\text{кг} \text{ } ^\circ\text{K})$; теплоемкость горячей воды – C_2 , $\text{КДж} / (\text{кг} \text{ } ^\circ\text{K})$. Определить расход теплоносителя, $\text{кг} / \text{час}$ и поверхность теплообмена S , м^2 для прямотока и противотока.

Вариант	X_H	X_0	X_K	G_H	t_H	t_K	t'_H	t'_K	C_1	C_2	K
2-1	14	2	32	5	10	80	95	30	5,0	4,5	0,75

Решение: Составляем структурную схему процесса.



Составляем уравнения материального и теплового баланса.

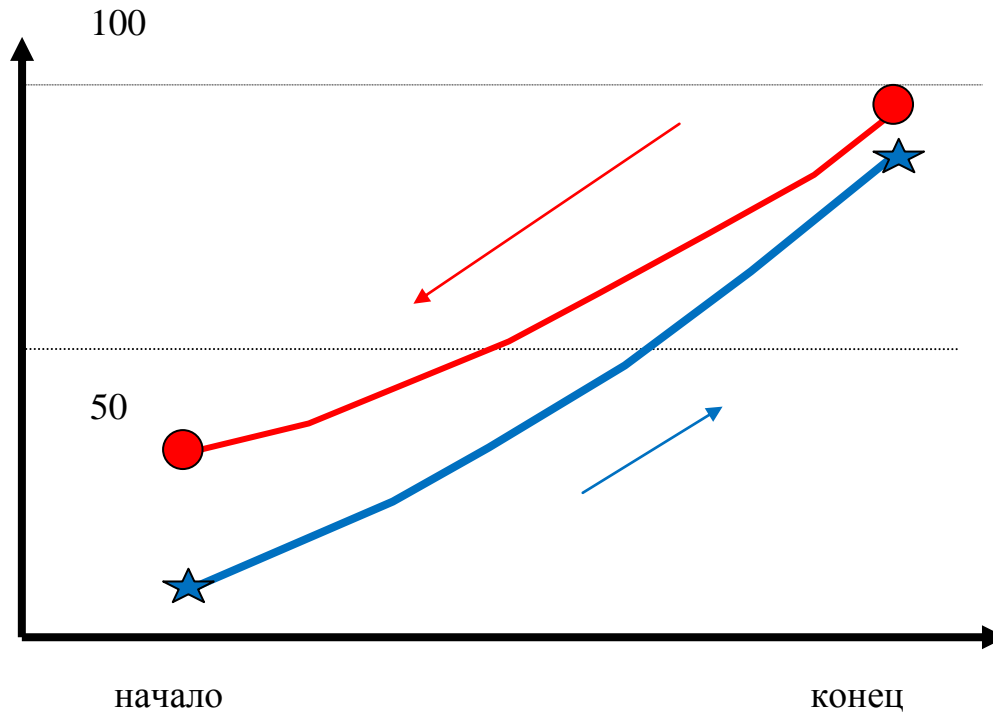
$$G_H = G_K + G_0$$

$$G_H X_H = G_K X_K + G_0 X_0$$

$$Q_x = G_0 C_1 (t_K - t_H); Q_r = G_{\text{ТН}} C_2 (t'_H - t'_K)$$

$$Q_x = Q_r = Q; Q = K \Delta t_{\text{cp}} S$$

Рисуем температурную диаграмму процесса.



Возможен только один режим **противотока**. (оптимизация невозможна)

$$\Delta t_6 = t'_k - t_n = 30 - 10 = 20; \Delta t_m = t'_n - t_k = 95 - 80 = 15;$$

$$\Delta t_6 / \Delta t_m = 20 / 15 = 1.33 < 2; \text{Следовательно } \Delta t_{cp} = 17.5.$$

$$\text{Осуществляем расчеты: } 5 = G_k + G_o; 5 \cdot 14 = G_k \cdot 32 + G_o \cdot 2.$$

$$\text{Следовательно, } G_o = 3 \text{ т/час, } G_k = 2 \text{ т/час.}$$

$$Q_x = G_o C_1 (t_k - t_n) = 3 \cdot 5 \cdot 70 / 3.6 = 291.7 \text{ кВт}$$

$$G_{тн} = Q_r / (C_2 (t'_n - t'_k)) = 291.7 / (4.5 \cdot 65) \cdot 3600 = 3600 \text{ кг/ час}$$

$$S = Q / (K \Delta t_{cp}) = 22.2 \text{ м}^2.$$

8.3. Задачи для самостоятельного решения

8.3.1. Исходный раствор азотнокислого аммония концентрацией X_n % подается на выпаривание, предварительно нагреваясь в теплообменнике от начальной температуры t_n °С до конечной – t_k °С. В качестве теплоносителя используется насыщенный водяной пар с параметрами t_s (температура конденсации, °С), r_s (удельная теплота конденсации, КДж/кг). Конечная концентрация раствора после выпаривания – X_k %; расход испаряемой влаги при выпаривании – W т/час. Определить поверхность теплообмена S , м²; расход теплоносителя для прямотока и противотока, кг/час, если коэффициент теплопередачи равен K , Вт/(м² °К); теплоемкость раствора – C_p , Дж/(кг °К).

Вариант Задания	X _н	X _к	t _н	t _к	t _с	r _с	K	W	C _p
1-1	20	45	15	130	143	2141	170	5	3000
1-2	18	45	20	130	143	2141	160	10	3500
1-3	25	40	16	120	151	2117	150	8	4000
1-4	15	40	21	120	133	2171	140	12	4100
1-5	16	42	17	122	158	2095	130	14	3200
1-6	17	42	22	125	151	2117	120	15	3400
1-7	18	43	18	124	133	2171	110	20	3600
1-8	19	43	23	124	151	2117	100	9	3800
1-9	22	44	19	120	133	2171	110	13	3400
1-10	23	44	25	120	133	2171	120	16	3600
1-11	17	42	14	110	140	2100	135	7	4200
1-12	19	41	22	115	135	2000	145	8	4000

8.3.2. Исходная суспензия направляется в отстойник непрерывного действия. Концентрация твердой фазы в исходной суспензии – X_n , % ; в осветленной жидкости – X_0 , % ; в сгущенной суспензии – X_k , % . Расход исходной суспензии – G_n , т/час. Осветленная жидкость нагревается от t_n , °C до t_k , °C. В качестве теплоносителя используется горячая вода с начальной температурой t'_n , °C и с конечной температурой t'_k , °C. Теплоемкость осветленной жидкости – C_1 , КДж / (кг °K); теплоемкость горячей воды - C_2 , КДж / (кг °K). Определить расход теплоносителя, кг / час и поверхность теплообмена S , м² для прямотока и противотока, если коэффициент теплопередачи равен K , Квт/(м² °K);

Вариант задания	X _н	X ₀	X _к	G _н	t _н	t _к	t' _н	t' _к	C ₁	C ₂	K
2-1	15	2	30	5	10	80	95	30	5,0	4,5	0,75
2-2	12	1,5	25	10	12	85	96	40	4,2	5,1	0,8
2-3	10	1,2	26	15	14	90	97	50	6,0	5,0	0,6
2-4	8	2,0	30	20	16	90	96	40	5,2	4,5	0,5
2-5	12	2,0	35	25	18	80	95	50	6,0	4,8	0,3
2-6	10	2,0	32	22	20	90	97	30	3,8	4,2	0,1
2-7	13	1,8	27	30	16	85	97	40	3,8	4,2	0,2
2-8	12	1,2	30	2,5	10	87	95	38	4,0	4,3	0,4
2-9	8	1,8	32	7,0	12	90	96	35	4,3	5,0	0,3
2-10	12	1,5	30	6,0	15	85	95	30	4,4	5,2	0,5
2-11	11	1,0	40	40	10	90	96	30	6,0	4,0	1,0
2-12	9	1,4	36	33	13	88	93	44	5,5	4,4	0,8

8.3.3. В абсорбер подается $V \text{ м}^3 / \text{час}$ газа, содержащего Y_n % аммиака. В качестве абсорбента используется вода, которая содержит аммиака X_n %. После

абсорбции содержание аммиака в газе Y_k %; а в воде X_k %. Вода подаваемая в абсорбер, предварительно охлаждается от $t_{нв}$ °C до $t_{кв}$ °C. В качестве хладагента используется обратная холодная вода, начальная температура которой – $t'_{нв}$ °C, а конечная – $t'_{кв}$ °C. Теплоемкость воды (абсорбента) – C_1 , Дж/(кг °K); теплоемкость обратной воды – C_2 , КДж/(кг °K). Определить поверхность теплообмена S , м²; расход обратной холодной воды в кг/час для прямотока и противотока, если коэффициент теплопередачи равен K , Квт/(м² °K), а плотность исходного газа $\rho = 1,3$ кг/м³.

Вариант задания	Ун	Ук	V	Хн	Хк	tn	tk	t' н	t' к	C1	C2	K
3-1	5.0	1.5	3000	0.2	1.2	95	20	8	45	3000	4.0	0.06
3-2	6.0	1.2	2000	0.3	1.8	85	15	10	50	3100	3.2	0.08
3-3	7.0	2.0	2500	0.4	2.3	70	18	12	45	3200	3.5	0.09
3-4	4.0	1.0	1500	0.2	1.3	90	20	15	55	3500	4.5	0.10
3-5	4.5	1.3	1800	0.15	1.5	95	20	20	47	3400	4.1	0.15
3-6	5.5	1.4	1600	0.18	1.4	75	25	19	58	3300	3.3	0.20
3-7	4.8	1.7	1700	0	1.6	80	19	19	55	4000	3.4	0.30
3-8	5.2	0.8	2200	0	1.7	83	23	18	60	3400	4.5	0.40
3-9	5.7	1.0	2400	0.25	2.1	78	22	25	65	2800	3.0	0.25
3-10	7.2	1.5	2600	0.5	2.0	90	22	22	62	3000	4.0	0.18
3-11	6.8	1.1	2700	0.35	1.9	99	33	22	77	2700	3.5	0.25
3-12	6.9	1.3	2700	0.33	1.8	88	44	33	77	2500	3.0	0.15

8.3.4. В ректификационной колонне непрерывного действия происходит разделение смеси метиловый спирт-вода. Концентрация исходной смеси по метиловому спирту – X_f %; концентрация кубового остатка по воде – X_w^* %. Концентрация ректификата по метиловому спирту – X_D %. Расход исходной смеси G_f , т/час. После разделения ректификат охлаждается от начальной температуры $t_{нв}$ °C до конечной температуры $t_{кв}$ °C. В качестве хладагента используется обратная вода с начальной температурой – $t'_{н}$, °C и конечной – $t'_{к}$, °C. Теплоемкость ректификата – C_1 , кДж/(кг · °K); обратной воды – C_2 , Дж/(кг · °K). определить поверхность теплообмена S , (м²), расход обратной воды в кг/час для прямотока и противотока, если коэффициент теплопередачи – K , квт/(м² · °K).

Вариант	Gf	Xf	XD	X*W	tн	tк	t*н	t*к	C1	C2	K
4-1	5,0	20	97	98	78	30	20	65	4,21	3800	1,0
4-2	5,5	22	96	97	79	35	25	65	4,30	3750	1,1
4-3	6,0	24	97	98	78	31	21	66	4,25	3700	1,05
4-4	6,5	26	95	97	79	32	22	66	4,22	3650	1,15
4-5	7,0	28	96	98	78	33	23	67	4,23	3600	1,20
4-6	7,5	23	95	97	79	34	24	65	4,24	3850	1,25
4-7	8,0	21	97	98	78	30	25	66	4,26	3900	1,30
4-8	8,5	25	96	97	79	31	24	67	4,27	3900	1,35
4-9	9,0	27	95	98	78	32	23	65	4,28	3950	1,40
4-10	9,5	30	97	97	79	33	22	66	4,29	4000	1,45
4-11	10,0	28	94	94	74	24	14	74	4,00	3000	1,4
4-12	10,0	25	95	95	75	25	25	75	4,05	3500	1,5

8.3.5. В отстойник непрерывного действия подается исходная суспензия.

Концентрация твердого вещества в исходной суспензии – $X_{н}, \%$; в осветленной жидкости – $X_{о}, \%$; в сгущенной суспензии – $X_{к}, \%$. Расход сгущенной суспензии – $G_{сс}, \text{ т/час}$. Исходная суспензия перед подачей в отстойник охлаждается холодной водой от начальной температуры – $t_{н}, ^\circ\text{C}$ до конечной – $t_{к}, ^\circ\text{C}$. Начальная и конечная температуры холодной воды: $t'_{н}$ и $t'_{к}$, в $^\circ\text{C}$. Теплоемкость исходной суспензии – C_1 , в $\text{кДж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$, теплоемкость холодной воды – C_2 , в $\text{дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{K})$. коэффициент теплопередачи K , в $\text{квт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{K})$, определить расход теплоносителя в кг/час , поверхность теплообмена для прямотока и противотока.

Вариант задания	Gс.с	Xн	Xо	Xк	tн	tк	t*к	t*к	K	C1	C2
5-1	5,0	8,0	2,0	20	95	30	8	40	0,8	1,0	4200
5-2	6,0	10	2,5	22	90	31	9	45	0,9	1,1	4000
5-3	7,0	11	1,8	21	85	32	10	40	1,1	1,2	4100
5-4	8,0	9,0	1,9	23	80	33	11	41	1,2	1,3	4200
5-5	9,0	12	2,1	24	94	34	12	42	1,3	1,4	4250
5-6	4,0	13	2,2	25	93	35	8	43	1,4	1,5	4150
5-7	3,0	14	2,3	27	92	36	9	44	1,5	1,6	4250
5-8	2,0	10	2,4	28	91	37	10	39	0,7	1,5	4300
5-9	1,0	9,0	2,5	26	88	38	11	40	0,6	1,3	4000
5-10	10,0	8,0	2,4	29	84	40	12	42	0,5	1,2	4100
5-11	5,0	11	3,0	30	93	33	13	43	0,3	1,3	4300
5-12	9,0	12	2,0	42	82	22	12	52	0,2	1,2	3200

8.3.6. Исходная суспензия направляется на разделение в отстойник непрерывного действия. Начальная концентрация твердой фазы в суспензии $X_{н},$

%; в осветленной жидкости X_o , %; в сгущенной суспензии X_k , %. Расход исходной суспензии G_n , $m/час$. Сгущенная суспензия нагревается от начальной температуры – t_n , $^{\circ}C$ до конечной t_k , $^{\circ}C$. В качестве теплоносителя используется насыщенный водяной пар с параметрами t_s и r_s , где: t_s – температура конденсации пара, $^{\circ}C$; r_s – теплота конденсации, $кДж/кг$. Определить расход теплоносителя, $кг/час$ и поверхность теплообмена для прямотока и противотока, если коэффициент теплопередачи равен K , $кВт/(м^2 \cdot ^{\circ}K)$, C_I – теплоемкость сгущенной суспензии, $дж/(кг \cdot ^{\circ}K)$.

Вариант задания	G_n	X_n	X_o	X_k	t_n	t_k	t_s	r_s	C_I	K
6-1	25	8	1,5	20	15	175	183	2009	1000	1,0
6-2	24	9	1,5	25	20	180	187	1995	1100	1,1
6-3	23	10	1,7	22	18	140	158	2095	1200	1,2
6-4	22	11	1,8	23	16	160	175	2040	1300	1,3
6-5	21	12	1,9	24	17	130	151	2117	1000	1,4
6-6	20	13	2,0	26	19	120	143	2141	1100	1,5
6-7	26	14	1,9	27	19	175	183	2009	1200	1,6
6-8	27	15	1,8	28	18	180	187	2009	1300	0,07
6-9	28	16	1,7	29	17	175	158	2095	1400	0,08
6-10	29	17	1,6	30	16	140	175	2040	1500	0,09
6-11	31	11	1,1	31	11	111	191	2111	1111	1,1
6-12	22	12	1,2	42	22	92	122	2200	1200	1,2

8.3.7. Исходная суспензия направляется в отстойник непрерывного действия, концентрация твердой фазы в исходной суспензии- x_n , % ; в осветленной жидкости - x_o , % ; в сгущенной суспензии - x_k , % . Расход сгущенной суспензии- G_{cc} , $m/час$. Исходная суспензия нагревается от начальной температуры t_n , $^{\circ}C$ до конечной t_k , $^{\circ}C$; t_s - температура конденсации пара, $кДж/кг$. Определить расход теплоносителя, $кг/час$; поверхность теплообмена для прямотока и противотока, если известно, что теплоемкость исходной смеси – C_I , $дж/(кг \cdot ^{\circ}K)$; коэффициент теплопередачи равен K , $кВт/(м^2 \cdot ^{\circ}K)$.

Вариант задания	Xн	X0	Xк	Gcc	tn	tk	ts	rs	C1	K
7-1	12	2,0	30	3,0	20	95	104	2249	4500	0,8
7-2	11	1,5	32	4,0	21	96	109	2237	4600	0,7
7-3	10	1,4	34	5,0	22	94	113	2227	4700	0,6
7-4	9	1,3	32	6,0	23	93	116	2217	4400	0,5
7-5	8	1,2	28	7,0	24	92	120	2208	4300	0,4
7-6	7	1,1	34	6,0	25	91	133	2171	4200	0,85
7-7	10	2,1	30	5,0	18	90	100	2260	4100	0,75
7-8	11	2,2	28	4,0	19	88	105	2248	4000	0,65
7-9	12	2,3	28	3,5	17	90	110	2234	3900	0,55
7-10	9	2,2	30	4,5	16	92	115	2221	3800	0,45

8.3.8.В конвективную сушилку направляется G_b , $m/час$ влажного материала с начальной влажностью - $b_{н}$, %. Воздух, направляемый в сушилку, нагревается от начальной температуры t_n , °C до конечной t_k , °C. Расход воздуха, покидающего сушилку вместе с испаряемой влагой, равен $G_{к}$, $m/час$. Теплоемкость нагреваемого воздуха $-C_v$, $кДж/(кг \cdot ^\circ K)$. Воздух нагревается насыщенным водяным паром с параметрами t_s и r_s , где: t_s - температура конденсации пара, °C; r_s -теплота конденсации пара, $кДж/кг$. Коэффициент теплопередачи равен K , $Вт/(м^2 \cdot ^\circ K)$. Найти поверхность теплообмена, расход пара в $кг/час$ для условий прямотока и противотока, если известно, что: $G_k = G_v + W$, где G_v - расход воздуха, поступающего в сушилку, $m/час$; W -расход влаги, удаляемой из материала в сушилке, $m/час$.

Вариант задания	Gк	bн	bк	Gf	tn	tk	ts	rs	Cв	K
8-1	7,0	15	0,8	5,0	-20	100	151	2117	4,2	750
8-2	6,5	16	0,7	5,5	-15	95	143	2141	4,3	800
8-3	8,0	17	0,9	6,0	-12	95	151	2117	4,4	850
8-4	8,5	18	1,0	6,5	-10	110	158	2095	4,5	900
8-5	9,0	19	1,1	7,0	-8	115	133	2171	4,6	700
8-6	10	20	1,2	7,5	-9	110	151	2117	4,7	650
8-7	9,5	21	1,3	8,0	-5	95	143	2141	4,8	600
8-8	11	22	1,4	8,5	-2	100	143	2141	4,9	550
8-9	12	23	1,5	9,0	-25	110	143	2141	5,0	500
8-10	10	24	1,6	8,0	-30	115	151	2117	4,1	450

8.3.9. Исходный раствор $NaOH$ концентрацией – $x_{н}$ %, подается на выпаривание. Концентрация упаренного раствора – $x_{к}$ %. Расход испаряемой влаги при выпаривании – W , кг/час. Упаренный, сконцентрированный раствор охлаждается в теплообменнике рассолом. Начальная температура рассола – $t_{н}$, °C ; конечная – $t_{к}$, °C. Сконцентрированный раствор входит с начальной температурой $t'_{н}$, °C и уходит с конечной – $t'_{к}$, °C . Найти расход рассола в кг/час, поверхность теплообмена для прямотока и противотока, если коэффициент теплопередачи- K , кВт/(м²·°C); теплоемкость раствора $NaOH$ – $C1$, Дж/(кг·°C); теплоемкость рассола- $C2$, кДж/(кг·°C).

Вариант задания	$x_{н}$	$x_{к}$	W	$t_{н}$	$t_{к}$	$t_{н}'$	$t_{к}'$	$C1$	$C2$	K
9-1	10	40	400	-5	10	80	10	2800	4,0	0,7
9-2	11	41	500	-6	11	90	12	2700	4,2	0,8
9-3	12	38	600	-7	12	100	13	2600	4,4	0,6
9-4	13	39	700	-8	13	85	11	2500	4,6	0,5
9-5	14	42	800	-9	14	95	14	2900	4,8	0,4
9-6	15	43	900	-10	11	105	15	3000	4,1	0,3
9-7	16	44	1000	-12	12	75	18	3100	4,3	0,2
9-8	12	45	300	-14	13	70	17	3200	4,5	0,1
9-9	14	42	1100	-15	14	84	16	3300	4,7	0,05
9-10	15	41	1200	-10	11	78	15	3400	4,0	0,25

8.3.10. В абсорбер подается газ, содержащий – $Y_{н}$ % аммиака. В качестве абсорбента используется вода, которая содержит аммиака – $X_{к}$ % ; После абсорбции в воде аммиака будет – $X_{н}$, а в газе – $Y_{к}$. Воздух после абсорбции нагревается от начальной температуры $t_{н}$, °C до конечной до $t_{к}$, °C. В качестве теплоносителя используется горячая вода с начальной температурой – $t'_{н}$, °C ; конечной – $t'_{к}$, °C. Известен расход поглотителя L , т/час. Определить расход горячей воды в кг/час, поверхность теплообмена для прямотока и противотока, если известны теплоемкость воздуха – $C1$, Дж/(кг·°C); теплоемкость горячей воды- $C2$, кДж/(кг·°C), коэффициент теплопередачи равен K , кВт/(м²·°C).

Вариант задания	Y _н	Y _к	L	X _к	X _н	t _н	t _к	t _н *	t _к *	C1	C2	K
10-1	5,0	0,8	4,0	1,2	0,0	18	70	95	72	2,3	3000	0,04
10-2	6,0	0,7	4,5	1,0	0,1	17	69	96	73	2,4	3100	0,05
10-3	5,5	0,6	5,0	1,3	0,2	16	68	97	75	2,5	3200	0,06
10-4	5,0	0,5	5,5	1,4	0,3	15	67	94	76	2,6	3300	0,07
10-5	4,5	0,7	6,0	1,5	0,1	14	66	93	77	2,6	3400	0,08
10-6	4,0	0,8	6,5	1,6	0,0	13	65	92	78	2,7	3500	0,09
10-7	4,8	0,9	7,0	1,7	0,0	12	64	91	79	2,8	3600	0,10
10-8	5,2	1,0	7,5	1,8	0,2	12	63	90	80	2,9	3700	0,11
10-9	6,5	1,1	8,0	1,7	0,3	15	62	89	78	2,8	3800	0,12
10-10	7,0	1,2	8,5	1,5	0,2	16	61	88	77	3,0	3900	0,13

8.3.11. В абсорбере из газа поглощается **СО**. Начальная концентрация **СО** в газе равна $Y_{н}, \%$; конечная концентрация – $Y_{к}, \%$. В качестве абсорбента используется моноэтаноламин, начальная концентрация **СО** в моноэтаноламине – $X_{н}, \%$; конечная – $X_{к}, \%$. Расход поглотителя равно $L, м/час$. Газ, содержащий **СО** , предварительно охлаждается от начальной температуры – $t'_{н}, ^\circ C$ до конечной – $t'_{к}, ^\circ C$. В качестве хладагента используется артезианская вода с параметрами: $t_{н}, ^\circ C$ и $t_{к}, ^\circ C$. Определить расход холодной воды в $кг/час$, поверхность теплообмена для прямотока и противотока, если теплоемкость воздуха – $C_1, Дж/(кг^\circ C)$; теплоемкость артезианской воды- $C_2, кДж/(кг^\circ K)$; коэффициент теплопередачи равняется $K, кВт/(м^2^\circ K)$.

Вариант задания	Y _н	Y _к	L	X _к	X _н	t _н	t _к	t _н	t _к	C1	C2	K
11-1	5,0	0,8	4,0	1,2	0,0	9,0	70	95	72	3400	3,7	0,04
11-2	5,5	0,9	4,5	1,1	0,1	10	69	96	74	3300	3.8	0.05
11-3	6,0	0,7	5,5	1,3	0,2	11	68	97	76	3200	3.9	0.06
11-4	6,5	0,6	5,0	1,4	0,3	12	67	94	78	3100	4.0	0.07
11-5	7,0	0,9	6,0	1,5	0,0	13	66	93	79	2900	4.1	0.08
11-6	7,5	1,0	6,5	1,6	0,1	14	65	92	80	3000	4.2	0.09
11-7	8,0	1,1	7,5	1,7	0,2	15	65	91	81	3100	4.3	0.10
11-8	8,0	1,2	7,0	1,8	0,3	16	66	90	82	2900	4.4	0.11
11-9	7,0	1,3	7,5	1,9	0,1	17	67	89	78	2800	4.5	0.12
11-10	6,0	1,4	8,0	1,8	0,2	18	68	88	75	2700	4.6	0.13

9. Особенности биологического уровня организации материи.

Генетика и эволюция (биологические процессы)

9.1. Общие сведения

Генетика

Генетика – это наука, изучающая закономерности наследственности и изменчивости. **Методы генетики:** *гибридологический, генеалогический, близнецовый, цитогенетический, биохимический, популяционно-статистический* и т.д.

Наследственность – это свойство организмов передавать определенные признаки и свойства. Различают **ядерную** и **цитоплазматическую наследственность**. Носителями ядерной наследственности являются **хромосомы ядра**, а цитоплазматической – **ДНК** митохондрий и пластид. Материнская наследственность передается от матери потомкам.

Изменчивость – свойство организмов приобретать новые признаки в течении жизни.

Наследственная изменчивость закрепляется в **генотипе** и передается потомкам. К ней относят, прежде всего, **комбинативную** и **мутационную** изменчивости.

Основные генетические понятия

Ген – это участок молекулы ДНК (хромосомы), несущий информацию об определенном признаке или свойстве организма.

Каждый **ген** занимает в хромосоме строго определенное место – **локус**. Так как в соматических клетках большинства эукариотических организмов хромосомы **парные** (гомологичные), то в каждой из **парных хромосом** находится по **одной копии гена**, отвечающего за определенный признак. Такие гены называют **аллельными**. **Аллельные гены** чаще всего существуют в двух вариантах – **доминантном** и **рецессивном**.

Доминантным называют ген, который проявляется вне зависимости от того, какой ген находится в другой хромосоме, и подавляет развитие признака, кодируемого рецессивным геном.

Рецессивные гены могут проявляться только в том случае, если в обеих парных хромосомах находятся рецессивные гены.

Организм, у которого в обеих гомологичных хромосомах находятся одинаковые гены, называется **гомозиготным** по данному гену или **гомозиготой** (АА, аа, ААВВ, аавв и т.д.), а организм, у которого в обеих гомологичных хромосомах находятся разные варианты гена - **доминантный** и **рецессивный**, - называется **гетерозиготным** по данному гену или **гетерозиготой** (Аа, АаВв и т.д.).

Хромосомная теория наследственности – учение о локализации наследственных факторов в хромосомах, разработанное **Т.Морганом**.

Основные положения теории:

1) **гены** находятся в **хромосомах**. Гены одной хромосомы наследуются сцеплено и называются группой сцепления. Количество групп сцепления у организма равно **гаплоидному (одинарному)** набору хромосом;

2) каждый ген занимает в хромосоме строго определенное место – **локус**;

3) **гены** в хромосомах расположены **линейно**;

4) **нарушение сцепления** происходит только в результате **кроссинговера** (взаимный обмен гомологичными участками гомологичных хромосом в результате разрыва и соединения в новом порядке их хроматид);

5) **независимое наследование** характерно только для **генов**, находящихся в негомологичных хромосомах.

Законы Менделя

Закон чистоты гамет: при гаметогенезе гены одной пары разделяются, то есть каждая **гамета** несет только **один вариант гена**.

Цитологической основой закона чистоты гамет является процесс **мейоза** (способ деления клеток; в результате **мейоза** образуются половые клетки), при котором к противоположным полюсам клетки расходятся гомологичные хромосомы несущие **доминантные** или **рецессивные** аллели данного гена.

Первый закон Менделя (закон доминирования, закон единообразия

гибридов первого поколения): при скрещивании **гомозиготных** родительских форм, отличающихся по одному признаку, все гибриды первого поколения будут **единообразны** как по **генотипу**, так и по **фенотипу**.

Второй закон Менделя (закон расщепления): при скрещивании **гетерозиготных** гибридов первого поколения в потомстве будет наблюдаться преобладание одного из признаков в соотношении **3:1** по **фенотипу** (**1:2:1** при неполном доминировании).

Третий закон Менделя (закон независимого наследования признаков): при скрещивании **гомозиготных** родительских форм, отличающихся по двум признакам, во втором поколении будет происходить независимое расщепление этих признаков в соотношении **3:1** (9:3:3:1 при дигибридном скрещивании).

Закон сцепления (закон Моргана)

Сцепленные гены, расположенные в одной хромосоме, наследуются совместно (сцеплено).

Буквенная символика по Г.Менделю

P (лат. «парентос» -родители). Родительские организмы, взятые для скрещивания, отличающиеся наследственными признаками.

F (лат. «филии» - дети). Гибридное потомство.

A – доминантный признак желтой окраски семян гороха.

a – рецессивный признак желтой окраски семян гороха.

B – доминантный признак гладкой поверхности семян гороха.

b – рецессивный признак морщинистой поверхности семян гороха.

Aa – аллельные гены окраски.

Bb – аллельные гены характера поверхности.

AA – доминантная гомозигота.

aa – рецессивная гомозигота.

Aa – гетерозигота при моногибридном скрещивании.

AaBb – гетерозигота при дигибридном скрещивании.

Некоторые правила, помогающие при решении генетических задач

Правило первое. Если при скрещивании двух фенотипически одинаковых

особей в их потомстве наблюдается расщепление признаков, то эти особи гетерозиготны.

Правило второе. Если в результате скрещивания особей, отличающихся фенотипически по одной паре признаков, получается потомство, у которого наблюдается расщепление по этой же паре признаков, то одна из родительских особей была гетерозиготна, а другая – гомозиготна по рецессивному признаку.

Правило третье. Если при скрещивании фенотипически одинаковых (по одной паре признаков) особей в первом поколении гибридов происходит расщепление признаков на три фенотипические группы в отношении 1:2:1, то это свидетельствует о неполном доминировании и о том, что родительские особи гетерозиготны.

Правило четвертое.

Если при скрещивании двух фенотипически одинаковых особей в потомстве происходит расщепление признаков в соотношении 9:3:3:1, то исходные особи были дигетерозиготными.

Правило пятое. Если при скрещивании двух фенотипически одинаковых особей в потомстве происходит расщепление признаков в соотношении 9:3:4, 9:6:1, 9:7, 12:3:1, 13:3, 15:1, то это свидетельствует о явлении взаимодействия генов; при этом расщепление в отношениях 9:3:4, 9:6:1 и 9:7 свидетельствует о комплементарном взаимодействии генов, (Комплементарность – один из видов взаимодействия неаллельных генов, при котором эти гены дополняют действие друг друга, и признак формируется лишь при одновременном действии обоих генов), а расщепление в отношениях **12:3:1, 13:3 и 15:1** – об эпистатическом взаимодействии (**Эпистаз – вид взаимодействия генов, при котором один из генов полностью подавляет действие другого гена.** Эпистаз может быть, как доминантным, так и рецессивным).

9.2. Примеры решения задач

Задача 9.2.1. При скрещивании двух морских свинок с черной шерстью получено потомство: 5 черных свинок и 2 белых. Каковы генотипы родителей?

Решение: Из условия задачи нетрудно сделать вывод о том, что черная окраска шерсти доминирует над белой, и не потому, что в потомстве черных особей больше, чем белых, а потому, что у родителей, имеющих черную окраску, появились детеныши с белой шерстью. На основе этого введем условные обозначения: черная окраска шерсти – *A*, белая – *a*.

Запишем условия задачи в виде схемы:

P *A?* *x* *A*
F *A?* *aa*

Используя названное выше правило, мы можем сказать, что морские свинки с белой шерстью (гомозиготные по рецессивному признаку) могли появиться только в том случае, если их родители были гетерозиготными.

Проверим это предположение построением схемы скрещивания:

P *Aa* *x* *Aa*
G *A, a;* *A, a*
F *AA; Aa; Aa; aa*

Расщепление признаков по фенотипу – 3:1. Это соответствует условиям задачи.

Убедиться в правильности решения задачи можно построением схем скрещивания морских свинок с другими возможными генотипами.

С х е м а 1:

P *AA* *x* *AA*
G *A, A;* *A, A*
F *AA; AA; AA; AA*

С х е м а 2:

P *Aa* *x* *AA*
G *A, a;* *A, A*
F *AA; AA; Aa; Aa*

В первом случае в потомстве не наблюдается расщепления признаков ни по генотипу, ни по фенотипу. Во втором случае генотипы особей будут различаться, однако фенотипически они будут одинаковыми. Оба случая

противоречат условиям задачи, следовательно генотипы родителей – **Aa; Aa**.

Задача 9.2.2. При скрещивании вихрастой и гладкой морских свинок получено потомство: 2 гладкошерстные свинки и 3 вихрастые. Известно, что гладкошерстность является доминантным признаком. Каковы генотипы родителей

Решение: Используя второе правило, мы можем сказать, что одна свинка (вихрастая) имела генотип **Aa**, а другая (гладкошерстная) – **aa**.

Проверим это построением схемы скрещивания:

P **Aa** x **aa**
G **A, a;** **a, a**
F **Aa, Aa, aa, aa,**

Расщепление по генотипу и фенотипу – **1:1**, что соответствует условиям задачи. Следовательно, решение было правильным.

Задача 9.2.3. При скрещивании петуха и курицы, имеющих пеструю окраску перьев, получено потомство: 3 черных цыпленка, 7 пестрых и 2 белых. Каковы генотипы родителей?

Решение: Согласно третьему правилу, в данном случае родители должны гетерозиготными. Учитывая это, запишем схему скрещивания:

P **Aa** x **Aa**
G **A, a;** **A, a**
F **AA; Aa; Aa; aa**

Из записи видно, что расщепление признаков по генотипу составляет соотношение **1:2:1**. если предположить, что цыплята с пестрой окраской перьев имеют генотип **Aa**, то половина гибридов первого поколения должны иметь пеструю окраску. В условиях задачи сказано, что в потомстве из 12 цыплят 7 были пестрыми, а это действительно составляет чуть больше половины. Каковы же генотипы черных и белых цыплят? Видимо, черные цыплята имели генотип **AA**, а белые – **aa**, так как черное оперение, или, точнее, наличие пигмента, как правило, доминантный признак, а отсутствие пигмента (белая окраска) – рецессивный признак. Таким образом, можно сделать вывод о том, что в

данном случае черное оперение у кур неполно доминирует над белым; гетерозиготные особи имеют пестрое оперение.

Задача 9.2.4. При скрещивании двух морских свинок с черной и вихрастой шерстью получены 10 черных свинок с вихрастой шерстью, 3 черных с гладкой шерстью, 4 белых с вихрастой шерстью и 1 белая с гладкой шерстью. Каковы генотипы родителей?

Решение: Итак, расщепление признаков у гибридов первого поколения в данном случае было близко к соотношению **9:3:3:1**, т.е. к тому отношению, которое получается при скрещивании дигетерозигот между собой (**AaBb** х **AaBb**, где **A** – черная окраска шерсти, **a** – белая; **B** – вихрастая шерсть, **b** – гладкая). Проверим это.

P **AaBb** х **AaBb**

G **AB, Ab,** **AB, Ab,**

aB, ab; **aB, ab;**

F **1AABB, 2AABb, 2AaBB, 4AaBb, 1AAbb, 2Aabb, 1aaBB, 2aaBb, 1aabb**

Расщепление по фенотипу **9:3:3:1**

Решение показывает, что полученное расщепление соответствует условиям задачи, а это значит, что родительские особи были дигетерозиготными.

Задача 9.2.5. При скрещивании двух растений тыквы со сферической формой плодов получено потомство, имеющее только дисковидные плоды. При скрещивании этих гибридов между собой (с дисковидными плодами) были получены растения с тремя типами плодов: 9 частей с дисковидными плодами, 6 – со сферическими и 1 – с удлинёнными. Каковы генотипы родителей и гибридов первого и второго поколений?

Решение: Исходя из результатов первого скрещивания, можно определить, что родительские растения были гомозиготны, так как в первом поколении гибридов все растения имеют одинаковую форму плодов. При скрещивании этих гибридов между собой происходит расщепление в отношении 9:6:1, что говорит о комплементарном взаимодействии генов (при

таком взаимодействии генотипы, объединяющие в себе два доминантных неаллельных гена А и В, как в гомо-, так и гетерозиготном состоянии определяют появление нового признака).

Составим условную схему скрещивания:

Р сферические х сферические
 F1 дисковидные
 F2 9 дисковидных; 6 сферических; 1 удлинённый

Если в данном примере присутствует комплементарное взаимодействие генов, то можно предположить, что дисковидная форма плодов определяется генами А и В, а удлинённая, видимо, рецессивным генотипом аавв. Ген А при отсутствии гена В определяет сферическую форму; ген В при отсутствии гена А тоже определяет сферическую форму плода. Отсюда можно предположить, что родительские растения имели генотипы ААвв и ааВВ.

При скрещивании растений с генотипами ААвв и ааВВ в первом поколении гибридов все растения будут иметь дисковидную форму плодов с генотипом АаВв. При скрещивании этих гибридов между собой наблюдается то расщепление, которое дано в условии задачи, следовательно, в данном примере действительно имело место комплементарное взаимодействие генов.

Задача 9.2.6. У душистого горошка два белоцветковых, но разных по происхождению растения при скрещивании дали в первом поколении пурпурноцветковые гибриды. При скрещивании этих гибридов между собой в потомстве наблюдалось следующее расщепление: 9 растений с пурпурными цветками, 7 – с белыми. Каковы генотипы родительских растений?

Решение: Составим условную схему скрещивания:

Р белоцветковое х белоцветковое
 растение растение
 F1 пурпурноцветковые
 F2 9 пурпурноцветковых; 7 белоцветковых.

Анализируя результаты скрещивания, можно сделать вывод о том, что пурпурная окраска цветка определяется взаимодействием доминантных генов А

и В. Отсюда генотип этих растений – АаВв.

Ген А при отсутствии гена В и ген В при отсутствии гена А определяют белоцветковость. Отсутствие в генотипе доминантных генов А и В обуславливает отсутствие пигмента, т.е. растения с рецессивным генотипом аавв тоже будут иметь цветки белой окраски.

Отсюда следует, что исходные родительские растения имели генотипы ААВВ и ааВВ. Первое поколение гибридов – АаВв (дигетерозиготное).

Задача 9.2.7. При скрещивании растений тыквы с белыми и желтыми плодами все потомство имело плоды белой окраски. При скрещивании полученных растений между собой наблюдалось следующее расщепление: 204 растения с белыми плодами, 53 – с желтыми и 17 – с зелеными плодами. Определите генотипы родителей и их потомства.

Решение: Запишем условную схему скрещивания:

Р желтоплодное х белоплодное

F1 белоплодное

F2 204 белых; 53 желтых; 17 зеленых.

Расщепление 204:53:17 соответствует примерно отношению 12:3:1, что свидетельствует о явлении эпистатического взаимодействия генов (когда один доминантный ген, например А, доминирует над другим доминантным геном, например В).

Отсюда белая окраска плодов определяется присутствием доминантного гена А или наличием в генотипе доминантных генов двух аллелей АВ; желтая окраска плодов определяется геном В, а зеленая окраска плодов генотипом аавв. Следовательно, исходное растение с желтой окраской плодов имело генотип ааВВ, а белоплодное – ААВв. При их скрещивании гибридные растения имели генотип АаВв (белые плоды).

При самоопылении растений с белыми плодами было получено:

9 растений белоплодных (генотип А...В...)

3 - белоплодных (генотип А...вв)

3 - желтоплодных (генотип ааВ...)

1 - зеленоплодных (генотип аавв).

Соотношение фенотипов 12:3:1. Это соответствует условиям задачи.

Задача 9.2.8. Одна из цепочек молекулы **ДНК** имеет следующий порядок нуклеотидов: **ЦЦГТАЦЦТАГТЦ...** Определить последовательность аминокислот в соответствующем полипептиде, если известно, что и **-РНК** синтезируется на комплиментарной данной цепи **ДНК**.

Решение: Молекула **и-РНК** синтезируется по принципу комплиментарности на одной из цепей молекулы **ДНК**. По условию задачи, **и-РНК** синтезируется на комплиментарной цепи. Следовательно, сначала необходимо построить комплиментарную цепь **ДНК**, помня при этом, что аденину соответствует тимин, а гуанину – цитозин. Двойная цепочка **ДНК** будет выглядеть следующим образом:

Ц Ц Г Т А Ц Ц Т А Г Т Ц . .

Г Г Ц А Т Г Г А Т Ц А Г . .

Теперь строим молекулу **и-РНК**. При этом следует вспомнить, что вместо тимина в молекулу **РНК** входит урацил. Тогда

ДНК: Г Г Ц А Т Г Г А Т Ц А Г

и-РНК: Ц Ц Г У А Ц Ц У А Г У Ц

Три рядом расположенных нуклеотида (триплет или кодон) **и-РНК** определяют присоединение одной аминокислоты. Соответствующие триплетам аминокислоты находим по таблице кодонов. Кодон **ЦЦГ** соответствует пролину, **УАЦ** – тирозину, **ЦУА** – лейцину, **ГУЦ** – валину. Следовательно, последовательность аминокислот в полипептидной цепи будет:

ПРО – ТИР – ЛЕЙ – ВАЛ –

При решении задач в области генетики студент должен усвоить следующие **принципы**:

1) в передаче наследственной информации участвует оба родителя, и они вносят одинаковый вклад в генетическую конструкцию потомка;

2) каждая особь имеет два гена, в то время как гамета содержит лишь один такой ген;

3) две пары генов, находящихся в разных хромосомах наследуются независимо друг от друга;

4) две пары генов, находящихся в одной и той же хромосоме, имеют тенденцию наследоваться совместно, но могут разделяться в случае кроссинговера;

5) гаметы могут соединяться в случайных комбинациях.

При решении генетических задач следует придерживаться следующих правил:

- 1) записать символы, используемые для обозначения каждого гена;
- 2) выяснять генотипы родителей, определяя их по фенотипам самих родителей, а если этого недостаточно, то по фенотипам либо их родителей, либо потомков;
- 4) определить все гаметы, образующиеся у каждого родителя;
- 5) начертить решетку Пеннета, в которой по горизонтали записываются женские гаметы, а по вертикали – мужские;
- 6) заполнить клетки решетки, записав в них генотипы соответствующих потомков, и определить соотношения в потомстве разных генотипов и разных фенотипов.

Задача 9.2.9. У человека ген *карего* цвета глаз доминирует над *голубым*. Гетерозиготная кареглазая женщина вышла замуж за голубоглазого мужчину. Какой цвет глаз возможен у их детей?

Условие задачи оформим в виде таблицы

Фенотип	Ген	Генотип
Карий цвет глаз	<i>B</i>	<i>BB, Bb</i>
Голубой цвет глаз	<i>b</i>	<i>bb</i>

Решение: Генетическая запись решения:

P *Bb* x *bb*

G (*B*) (*b*) (*b*)

F₁ *Bb* *bb*

либо с помощью *решетки Пеннета*:

	<i>B</i>	<i>b</i>
<i>b</i>	<i>Bb</i>	<i>bb</i>
<i>b</i>	<i>Bb</i>	<i>bb</i>

Гетерозиготная особь (в данном случае – мать) дает два типа гамет, гомозиготная (отец) – один. В результате такого брака вероятность рождения детей с карими и голубыми глазами равна 1:1 (по 50%).

Задача 9.2.10. У человека близорукость (**M**) доминирует над нормальным зрением (**m**), а карий цвет глаз (**B**) – над голубым (**b**). Гетерозиготная кареглазая женщина с нормальным зрением вышла замуж за голубоглазого гетерозиготного близорукую мужчину. Определить возможные фенотипы и генотипы их детей.

Условие задачи:

Фенотип	Ген	Генотип
Близорукость	M	MM, Mm
Нормальное зрение	m	mm
Карий цвет глаз	B	BB, Bb
Голубой цвет глаз	b	bb

Решение:

P Bbmm x bbMm

G (Bm)(bm) (bM)(bm)

F₁ BbMm Bbmm bbMm bbmm

или с помощью **решетки Пеннета**:

♀	Bm	Bm	bm	Bm
♂				
bM	BbMm	BbMm	bbMm	bbMm
bm	Bbmm	Bbmm	bbmm	bbmm
bM	BbMm	BbMm	bbMm	bbMm
bm	Bbmm	Bbmm	bbmm	bbmm

Возможны 4 случая: один ребенок – кареглазый близорукий гетерозиготный по обеим парам аллелей BbMm; другой – кареглазый, гетерозиготный с нормальным зрением Bbmm; третий – голубоглазый близорукий гетерозиготный по второй паре аллелей bbMm; четвертый – голубоглазый с нормальным зрением – bbmm. Вероятность рождения каждого из них – 25%.

9.3. Задачи для самостоятельного решения

Общие условия для первых трех задач (9.3.1-9.3.3): У человека карий цвет глаз доминирует над голубым, а способность лучше писать правой рукой доминирует над леворукостью. Обе пары генов расположены в разных хромосомах.

9.3.1. Голубоглазый правша женился на кареглазой правше. У них родилось двое детей – кареглазый левша и голубоглазый правша. Каковы генотипы родителей?

9.3.2. Голубоглазый правша, отец которого был левшой, женился на кареглазой левше из семьи, все члены которой в течение нескольких поколений имели карие глаза. Какое потомство в отношении этих двух признаков следует ожидать от такого брака?

9.3.3. Кареглазый правша женился на голубоглазой правше. Их первый ребенок левша и имеет голубые глаза. Какова вероятность рождения второго ребенка с таким же сочетанием признаков?

9.3.4. У молодых цыплят нет внешних заметных половых признаков, а между тем экономически целесообразно устанавливать для будущих петушков и курочек различные режимы питания. Нельзя ли для выявления пола воспользоваться тем фактом, что ген окраски находится в X-хромосоме, причем рябая доминирует над черной (у птиц гетерогаметный пол - женский).

9.3.5. У человека классическая гемофилия наследуется как сцепленный с X-хромосомой рецессивный признак. Альбинизм обусловлен аутосомным рецессивным геном. У одной супружеской пары, нормальной по этим двум признакам, родился ребенок с обеими этими аномалиями. Какова вероятность того, что у второго сына в этой семье проявятся также обе аномалии одновременно?

9.3.6. У человека альбинизм (отсутствие пигментации) и дальтонизм (цветовая слепота) наследуются как рецессивные признаки, но дальтонизм сцеплен с X-хромосомой. Родители не страдают ни тем, ни другим недостатком, но их первый сын оказался дальтоником и альбиносом. Какой из

этих признаков может с большей вероятностью носить второй сын?

9.3.7. Окраска шерсти грызунов зависит от двух генов и определяется следующим образом: все особи, имеющие хотя бы по одному доминантному аллелю А и С – серые; все особи с двумя рецессивными аллелями аа – белые; все особи, имеющие хотя бы один доминантный ген А и оба рецессивные сс, – черную. Какую пару нужно подобрать самцу с генотипом АаСс, чтобы в потомстве увидеть животных всех трех цветов?

9.3.8. У дрозофилы гены длины крыльев и окраски глаз сцеплены с полом. Нормальная длина крыльев и красные глаза доминируют над миниатюрными крыльями и белыми глазами. Какое будет потомство при скрещивании между собой самцов с миниатюрными крыльями и красными глазами и гомозиготной самкой с нормальными крыльями и белыми глазами?

9.3.9. У дрозофилы имеется пара аллельных генов, сцепленных с полом. Один из них определяет развитие белых глаз, а другой – красных. Скрещивается самка, у которой красные глаза, с белоглазым самцом. Все потомство F1 только с красными глазами, а самцы F2 – как с теми, так и с другими. Определите, какой из двух аллелей доминантный, какой рецессивный. Какова вероятность появления в F2 белоглазых самцов?

9.3.10. У человека дальтонизм (цветовая слепота) – рецессивный признак, сцепленный с полом, а нормальное цветоощущение – его доминантный аллель. Девушка, имеющая нормальное зрение, отец которой страдал цветовой слепотой, выходит замуж за нормального мужчину, отец которого тоже страдал цветовой слепотой. Какое зрение можно ожидать у детей от этого брака?

9.3.11. Участок одной нити *ДНК* имеет следующую структуру: **ТАТТЦТТТТТГТГГГ**..... Укажите структуру соответствующей части молекулы белка, синтезированного при участии комплиментарной цепи. Как изменится первичная структура фрагмента белка, если выпадет второй нуклеотид?

9.3.12. Участок одной нити *ДНК* имеет следующую структуру: **ТАЦГАТЦГАЦТАЦГААТТ**..... Постройте участок информационной РНК,

транскрибируемой на этой молекуле **ДНК**, и укажите структуру соответствующей части молекулы белка. Как изменится первичная структура фрагмента белка, если выпадет второй нуклеотид?

9.3.13. Участок молекулы **и-РНК** имеет следующий вид: **ГЦЦУУУАГЦЦУГААУ**. Укажите структуру соответствующей части молекулы белка и восстановите участок молекулы **ДНК**, с которого был транскрибирован участок **и-РНК**.

9.3.14. Приведена последовательность **ДНК**: **ТАЦААГТАЦТТГТТТЦТТ**. Напишите последовательность **и-РНК**, в которую будут транскрибирован комплиментарный участок **ДНК** и аминокислотные последовательности, которые будут получены при трансляции этой **и-РНК**.

9.3.15. Приведена последовательность **ДНК**: **ТАЦГТТГЦТГЦЦТГЦЦГГ**. Напишите последовательность **и-РНК**, в которую будут транскрибирован комплиментарный участок **ДНК** и аминокислотные последовательности, которые будут получены при трансляции этой **и-РНК**.

9.3.16. Какими способами может быть закодирован в генах участок белка из следующих пяти аминокислот: **про-лиз-гис-вал-тир**? Какие из указанных аминокислот не синтезируются в животных клетках?

9.3.17. Одна цепь участка **ДНК** имеет следующую последовательность оснований: **ГТАГЦТАЦЦАТАГГ**. Какова будет последовательность **и-РНК**, которая транскрибируется с комплиментарного участка **ДНК**? Какой пептид будет синтезироваться?

9.3.18. Под воздействием азотистой кислоты цитозин превращается в гуанин. Какое строение будет иметь участок синтезируемого белка, если должен создаваться белок вируса табачной мозаики последовательностью аминокислот: **сер-гли-сер-иле-тре-про-сер**, но все цитозиновые нуклеотиды соответствующего участка **РНК** подверглись указанному химическому приращению?

9.3.19. Напишите последовательность нуклеотидов в обеих цепях фрагмента молекулы **ДНК**, если кодируемый белок имеет следующую

первичную структуру: *ал-тре-лиз-асн-сер-гли-глу-асп...*

9.3.20. Участок одной цепи *ДНК* имеет следующую последовательность нуклеотидов: *ГГААЦАЦТАГТТААААТАЦГ...* Какова последовательность аминокислот в полипептиде, соответствующем этой генетической информации?

10. Принципы целостности и системности в естествознании.

Элементы космологии

10.1 Общие сведения

Из астрономических наблюдений за удаленными галактиками следует, что наша *Вселенная расширяется*. По *закону Хаббла* скорость удаления галактик прямо пропорциональна расстоянию между ними, т.е. $v = H \cdot r$, где H - постоянная Хаббла ($H = 75 \text{ км} / (\text{с} \cdot \text{Мпк})$);

$1 \text{ Мпк} = 10^6 \text{ пк}$; $1 \text{ парсек (пк)} = 3.3 \text{ световых года}$; световой год – это расстояние, проходимое светом в вакууме за один земной год и равное примерно 10^{16} м .

Постоянная Хаббла $H = 1 / \tau$, где τ - время жизни нашей Вселенной, составляющее по современным оценкам *около 15 млрд. лет*.

Определение скорости удаления галактики в астрономических наблюдениях основано на *эффекте Доплера* и измерении красного смещения всех линий в спектре излучения галактики.

Скорость распространения света не зависит от того, в покое или движении находится источник света или наблюдатель. Однако длины волн, которые принимает наблюдатель в случае покоящегося (λ_0) или движущегося (λ) источника, различны, и их разность дает так называемое *доплеровское смещение длины волны*: $\Delta \lambda = \lambda - \lambda_0$

При скоростях объектов, значительно меньших скорости света, справедливо выражение: $(\lambda - \lambda_0) / \lambda_0 = \zeta = v / c$, где ζ - относительное смещение спектральных линий; v – скорость объекта, излучающего свет.

Сдвиг линий в красную область спектра (красные смещения) дает $\zeta > 0$ и соответствует удалению объекта.

Для больших скоростей объекта, сравнимых со скоростью света:

$$\zeta = \frac{1 + v/c}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} - 1$$

10.2. Примеры решения задач

Задача 10.2.1. Относительное красное смещение для одной из галактик составляет 0.001. Приближается или удаляется галактика по отношению к земному наблюдателю? Определите смещение для голубой линии водорода $\lambda_0 = 486.1$ нм. Какова скорость движения галактики по лучу зрения в направлении наблюдателя?

Решение: По условию $\zeta = 0.001$, т.е. $\zeta > 0$. Следовательно наблюдаемая галактика удаляется. Смещение длины волны $\Delta \lambda$ определим по формуле: $\Delta \lambda / \lambda_0 = \zeta$. $\Delta \lambda = \lambda_0 \cdot \zeta = 0.001 \cdot 486.1$ нм = 0.4861 нм. Скорость движения галактики : $v = c \cdot \zeta = 3 \cdot 10^8 \cdot 0.001 = 300$ км /с.

Задача 10.2.2. Какова неопределенность импульса нейтрона, заключенного в ядре? Размер ядра 10^{-15} м.

Решение: Согласно соотношению неопределенности Гейзенберга:

$$\Delta X \cdot \Delta P \geq h/4\pi.$$

Такое же соотношение справедливо для энергии ΔE и времени Δt :

$$\Delta E \cdot \Delta t \geq h/4\pi,$$

где ΔX – неопределенность измерения координаты,

ΔP – неопределенность измерения импульса.

Для нейтрона, находящегося в ядре, неопределенность измерения координаты ΔX – порядка размеров ядра. Тогда $\Delta P \geq h / (4\pi \Delta X) = 1,05 \cdot 10^{-34} / 10^{-15} = 10^{-19}$ кг м/с.

Задача 10.2.3. Белый карлик радиусом **9000 км** при гравитационном коллапсе превращается в нейтронную звезду радиусом **6 км**. Вычислить период излучения получившегося пульсара, если белый карлик совершал один оборот за **30 суток**. При коллапсе было сброшено **35%** массы.

Дано: $\eta = 0,35$

$$m_2/m_1 = 1 - \eta = 0,65$$

$$R_1 = 9000 \text{ км} = 9 \cdot 10^6 \text{ м}$$

$$R_2 = 6 \text{ км} = 6 \cdot 10^3 \text{ м}$$

$$T_1 = 30 \text{ суток} = 30 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60 \text{ с}$$

Определить: T_2

Решение: Белый карлик при гравитационном коллапсе превращается в нейтронную звезду. Так как коллапс происходит за доли секунды (т.е. почти мгновенно), то справедлив закон сохранения момента количества движения:

$$J_1 \omega_1 = J_2 \omega_2,$$

где $J_1 = 0,4 m_1 R_1^2$ – момент инерции звезды (белого карлика) в виде шара;

$J_2 = 0,4 m_2 R_2^2$ – момент инерции нейтронной звезды;

$\omega_1 = 2\pi \eta_1 = 2\pi / T_1$ – угловая скорость вращения белого карлика;

$\omega_2 = 2\pi \eta_2 = 2\pi / T_2$ – угловая скорость вращения нейтронной звезды;

T_1, T_2 – периоды обращения белого карлика и нейтронной звезды соответственно.

Подставляя значения моментов инерции и угловых скоростей в вышеприведенную формулу, получим соотношение для определения периода звезды:

$$0,4 m_1 R_1^2 \cdot 2\pi / T_1 = 0,4 m_2 R_2^2 \cdot 2\pi / T_2$$

Откуда

$$\begin{aligned} T_2 &= (m_2/m_1) (R_2/R_1)^2 T_1 = 0,65 \cdot (6 \cdot 10^3 / 9 \cdot 10^6)^2 \cdot 30 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60 = \\ &= 0,65 \cdot (4/9) \cdot 10^{-6} \cdot 3 \cdot 6 \cdot 6 \cdot 2,4 \cdot 10^4 = 8,32 \cdot 10^{-2} \text{ с}. \end{aligned}$$

Согласно современным представлениям период излучения пульсара совпадает с периодом обращения нейтронной звезды.

Ответ: Период излучения пульсара равен $T = 0,0832 \text{ с}$.

Задача 10.2.4. Определить расстояние в световых годах до галактики по ее красному смещению $\Delta\lambda = 10 \text{ нм}$ линии $\lambda = 486 \text{ нм}$.

Дано: $H = 75 \text{ км} \cdot \text{с}^{-1} / \text{Мпс}$

$\Delta\lambda = 10 \text{ нм}$

$$\lambda = 486 \text{ нм}$$

Определить: R

Решение: При удалении галактики со скоростью V согласно эффекту Доплера для смещения $\Delta\lambda$ в красную сторону (в сторону удлинения длины волны) линии излучения λ справедливо соотношение (при небольшом удалении): $\Delta\lambda / \lambda = V / c$,

где c – скорость света.

Отсюда скорость удаления галактики равна:

$$V = c \cdot \Delta\lambda / \lambda.$$

Вычислим скорость удаления:

$$V = 3 \cdot 10^8 \cdot 10 / 486 = 0,062 \cdot 10^8 \text{ м/с} = 62 \cdot 10^5 \text{ м/с} = 6200 \text{ км/с}.$$

По закону Хаббла скорость удаления пропорциональна расстоянию до галактики: $V = H R$.

Примем постоянную Хаббла $H = 75 \text{ км} \cdot \text{с}^{-1} / \text{Мпс}$.

Расстояние до галактики будет:

$$R = V / H = 6200 / 75 = 82,7 \text{ Мпс}.$$

Учтем, что $1 \text{ парсек} = 3,26 \text{ световых года}$, а $1 \text{ Мпс} = 10^6 \text{ пс}$. Тогда

$$R = 260 \cdot 10^6 \text{ св.лет}.$$

Ответ: галактика удалена на **269 млн. световых лет**.

10.3. Задачи для самостоятельного решения

10.3.1. Оценить расстояние до галактики, если красное смещение линии H_α водорода (длина волны $\lambda = 656 \text{ нм}$) составляет **30 нм**. Принять постоянную Хаббла равной $H = 75 \text{ км} \cdot \text{с}^{-1} / \text{Мпс}$.

10.3.2. Оценить расстояние до галактики, если красное смещение линии H_α водорода (длина волны $\lambda = 656 \text{ нм}$) составляет **10 нм**. Принять постоянную Хаббла равной $H = 75 \text{ км} \cdot \text{с}^{-1} / \text{Мпс}$.

10.3.3. Для галактики, находящейся на расстоянии **400 световых лет**, красное смещение линии H_α водорода (длина волны $\lambda = 656 \text{ нм}$) составляет **20 нм**. Оценить постоянную Хаббла.

10.3.4. По красному смещению линий водорода было найдено, что галактика, находящаяся на расстоянии **45 млн. световых лет** удаляется со скоростью **10^3 км/с**. Оценить постоянную Хаббла.

10.3.5. Для галактики, находящейся на расстоянии **600 млн. световых лет**, красное смещение линии H_α водорода (длина волны $\lambda = 656$ нм) составляет **30 нм**. Оценить постоянную Хаббла.

10.3.6. Определите линейную скорость вращения точек на солнечном экваторе, если для земной линии водорода с $\lambda_0 = 500$ нм доплеровское смещение равно **0.0035 нм**.

10.3.7. При годичном движении Земли линии в спектрах звезд, к которым в данный момент направлено движение Земли, смещены в фиолетовую сторону. Определите скорость движения Земли, если для зеленой линии $\lambda_0 = 500$ нм смещение составляет **0.05 нм**.

10.3.8. При измерении в 1963 г. Красного смещения в спектре квазара **3C 273-B** было установлено, что оно равно **0.16**. Определите скорость по лучу зрения, с которой изменяется его расстояние от Земли.

10.3.9. С какой скоростью летит космический корабль, если красный луч лазера, посланный с Земли на корабль, кажется космонавту зеленым? Увеличивается или уменьшается расстояние между Землей и кораблем? Длины волн красного и зеленого света принять равными соответственно **620** и **550 нм**.

10.3.10. Определите скорость, с которой удаляются друг от друга галактики, разделенные расстоянием **10 Мпк**.¹²⁸ Определить объем куба с ребром $a = 10$ см в лабораторной системе координат,двигающегося прямолинейно со скоростью $v = 0,6$ с.

10.3.11. Во сколько раз изменится объем куба с ребром $a = 10$ см,двигающегося прямолинейно со скоростью $v = 0,6$ с по оси X?¹³⁰ При какой скорости частицы ее масса m превышает массу покоя m_0 на 1%?

10.3. Вычислить радиус белого карлика, если при коллапсе этой звезды было сброшено 50% ее массы. Радиус образовавшейся нейтронной звезды 10 км, а периоды вращения белого карлика и нейтронной звезды 10 суток и 0,3 с

соответственно.

10.3.13. Вычислить период излучения оптического пульсара, если при коллапсе белого карлика радиусом 6000 км было сброшено 10% массы. Белый карлик делал 0,06 оборотов в сутки, а период излучения пульсара — 0,1 с.

10.3.14. Определить радиус нейтронной звезды, если при коллапсе белого карлика радиусом 5000 км было сброшено 10% массы. Белый карлик делал 0,06 оборотов в сутки, а период излучения пульсара — 0,1 с.

10.3.15. Вычислить радиус нейтронной звезды, если при коллапсе белого карлика было сброшено 40% массы звезды. Радиус белого карлика был 15000 км, а период вращения белого карлика и нейтронной звезды были 20 суток и 0,02 с соответственно.

10.3.16. На месте белого карлика с радиусом 10000 км и угловой скоростью 0,314 рад/сут образовалась нейтронная звезда диаметром 16 км. Определить период излучения образовавшегося пульсара. Учесть, что при коллапсе было сброшено 40% массы звезды.

11. Справочные данные

Таблица 11.1

1. Основные физические постоянные

<i>Физическая постоянная</i>	<i>Обозначение</i>	<i>Числовое значение</i>
1	2	3
Гравитационная постоянная	G	$6.67 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3 / \text{кг} \cdot \text{с}^2$
Универсальная газовая постоянная	R	$8.3144 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К})$
Число Авогадро	N_A	$6.02205 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$
Молярный объем идеал.газа при норм.	V_0	$22.4 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{моль}$
Постоянная Больцмана	K	$1.3807 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}$
Элементарный заряд	e	$1.60 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$
Масса покоя электрона	m_e	$9.1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$
Масса покоя протона	m_p	$1.672 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
Масса покоя нейтрона	m_n	$1.675 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
Масса ядра дейтерия	${}^2\text{H}_1$	$3.3425 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
Электрическая постоянная	ϵ_0	$8.85 \cdot 10^{-12} \text{ ф / м}$
Скорость света в вакууме	C	$3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$
Постоянная Планка	h	$6.63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$
Боровский радиус	A	$0.529 \cdot 10^{-10} \text{ м}$
Примерный радиус ядра	r_g	10^{-15} м
Атомная единица массы	a.e.m.	$1.660 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$

Таблица 11.2

Диаметры атомов и молекул, нм

<i>Наименование</i>	<i>Диаметр, нм</i>	<i>Наименование</i>	<i>Диаметр, нм</i>
Гелий, (He)	0.20	Кислород, (O ₂)	0.30
Водород (H ₂)	0,23	Азот (N ₂)	0,30
Водяной пар	0,26	Углекислый газ (CO ₂)	0,33

Таблица 11.3

Некоторые астрономические величины

Радиус Земли	$6,37 \cdot 10^6 \text{ м}$
Плотность Земли	5500 кг/м^3
Масса Земли	$5,96 \cdot 10^{24} \text{ кг}$
Радиус Солнца	$6,95 \cdot 10^8 \text{ м}$
Масса Солнца	$1,97 \cdot 10^{30} \text{ кг}$
Средняя плотность Солнца	1400 кг/ м^3
Радиус Луны	$1,74 \cdot 10^6 \text{ м}$
Масса Луны	$7,3 \cdot 10^{22} \text{ кг}$
Расстояние до Луны	$3,8 \cdot 10^8 \text{ м}$
Расстояние до Солнца	$1,5 \cdot 10^{11} \text{ м}$
Период обращения Луны вокруг Солнца	27 суток 7 ч 43 мин
Масса Бетельгейза	$2,7 \cdot 10^{31} \text{ кг}$
Масса Сириуса	$4,5 \cdot 10^{30} \text{ кг}$
Масса Веги	$5,6 \cdot 10^{30} \text{ кг}$
Постоянная Хаббла	$75 \text{ км с}^{-1} \text{ Мпс}^{-1}$

Таблица 11.4

Масса некоторых изотопов

<i>Изотоп</i>	<i>Символ</i>	<i>Масса (а.е.м.)</i>
Водород	^1_1H	1.00783
Дейтерий	^2_1H	2.01410
Гелий	^4_2He	4.00260
Углерод	$^{12}_6\text{C}$	12.0000
Кислород	$^{17}_8\text{O}$	16.99931
Полоний	$^{210}_{84}\text{Po}$	209.98285
Торий	$^{230}_{90}\text{Th}$	230.033127
Уран	$^{234}_{92}\text{U}$	234.040946

Таблица 11.5

Свойства некоторых твердых тел

<i>Вещество</i>	<i>Плотность, 10^3 кг/м^3</i>	<i>Температура плавления, $^{\circ}\text{C}$</i>	<i>Удельная теплоемкость $\text{Дж} / (\text{кг} \cdot \text{K})$</i>	<i>Температурный коэффициент линейного расширения 10^{-5} K^{-1}</i>
Алюминий	2,6	659	896	2,3
Железо	7,9	1530	500	1,2
Латунь	8,4	900	386	1,9
Медь	806	1100	395	1,6
Олово	7,2	232	230	2,7
Платина	21,4	1770	117	0,89
Серебро	10,5	960	234	1,9
Цинк	7,0	420	391	2,9

Таблица 11.6

Свойства некоторых жидкостей при нормальных условиях

<i>Вещество</i>	<i>Химическая формула</i>	<i>Плотность $10^3 \text{ кг} / \text{м}^3$</i>	<i>Удельная теплоемкость при 20°C $\text{Дж}/(\text{кг}\cdot\text{K})$</i>	<i>Вязкость, $10^{-3} \text{ кг} / \text{м}\cdot\text{с}$</i>
Вода	H_2O	1,00	4190	1,004
Бензол	C_6H_6	0,879	1720	0,65
Глицерин	$\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3$	1,2613	2430	1499
Касторовое масло	-	0,90	1800	950
Спирт этиловый	$\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$	0,79	2510	1,20

Таблица 11.7

Удельная теплота сгорания топлива

<i>Вещество</i>	<i>q, Мдж/кг</i>	<i>Вещество</i>	<i>q, Мдж/кг</i>
Бурый уголь	9,3	Каменный уголь А-1	20,5
Древесный уголь	29,7	Каменный уголь А-2	30,3
Дрова сухие	8,3	Кокс	30,3
Торф	15	Порох	3
Бензин, нефть	46	Лигроин	43,3
Дизельное топливо	42	Мазут	40
Керосин	43,1	Спирт этиловый	27
Генераторный газ	5,5	Природный газ	35,5
Коксовый газ	16,4	Светильный газ	21

Таблица 11.8

Диэлектрическая проницаемость

<i>Вещество</i>	<i>ε</i>	<i>Вещество</i>	<i>ε</i>
Вода	81	Парафин	2
Воздух	1,0006	Слюда	6
Вакуум	1	Стекло	6
Воск	7,8	Фарфор	6
Керосин	2,0	Эбонит	2,6

Таблица 11.9

Удельное сопротивление при 0°С

<i>Вещество</i>	<i>ρ, нОм · м</i>	<i>Вещество</i>	<i>ρ, нОм · м</i>
Алюминий	25,3	Нихром	1000
Графит	39	Серебро	15,8
Железо	87	Свинец	220
Медь	17	Сталь	100

Таблица 11.10

Показатели преломления

<i>Вещество</i>	<i>n</i>	<i>Вещество</i>	<i>N</i>
Алмаз	2,42	Сахар	1,56
Ацетон	1,36	Сероуглерод	1,63
Бензол	1,5	Скипидар	1,51
Вода	1,33	Спирт этиловый	1,36
Воздух	1,0003	Стекло	1,5
Кварц	1,54	Лед	1,31

Таблица 11.11

Удельная теплота плавления

<i>Вещество</i>	<i>q, кДж/кг</i>	<i>Вещество</i>	<i>q, кДж/кг</i>
Вода(лед)	333,7	Алюминий	397
Этиловый спирт	108	Цинк	111
Платина	111	Серебро	104,5
Медь	205	Золото	65,7
Железо чистое	277	Кремний	164

Таблица 11.12

Периоды полураспада радиоактивных элементов

<i>Элемент</i>	<i>Период полураспада</i>	<i>Элемент</i>	<i>Период полураспада</i>
$^{45}_{20}\text{Ca}$	164 суток	$^{226}_{85}\text{Ra}$	1590 лет
$^{210}_{84}\text{Po}$	138 суток	$^{238}_{92}\text{U}$	$4,5 \cdot 10^9$ лет
$^{222}_{86}\text{Rn}$	3,82 суток	$^{232}_{90}\text{Th}$	$1,39 \cdot 10^{11}$ лет
$^{137}_{55}\text{Cs}$	30 лет	$^{131}_{53}\text{I}$	8.08 суток

Таблица 11.13

Приставки для образования кратных и дольных единиц

<i>Приставка</i>	<i>Обозначение</i>	<i>Кратность, дольность</i>	<i>Приставка</i>	<i>Обозначение</i>	<i>Кратность, дольность</i>
<i>Пета</i>	<i>П</i>	10^{15}	<i>Деци</i>	<i>д</i>	10^{-1}
<i>Тера</i>	<i>Т</i>	10^{12}	<i>Сант</i>	<i>с</i>	10^{-2}
<i>Гига</i>	<i>Г</i>	10^9	<i>Милли</i>	<i>м</i>	10^{-3}
<i>Мега</i>	<i>М</i>	10^6	<i>Микро</i>	<i>мк</i>	10^{-6}
<i>Кило</i>	<i>к</i>	10^3	<i>Нано</i>	<i>н</i>	10^{-9}
<i>Гекто</i>	<i>г</i>	10^2	<i>Пико</i>	<i>п</i>	10^{-12}
<i>Дека</i>	<i>да</i>	10	<i>Фемто</i>	<i>ф</i>	10^{-15}

Таблица 11.14

Соответствие кодонов и-РНК аминокислотам

Соответствие кодонов и-РНК аминокислотам (сокращенные названия аминокислот даны по международной терминологии): Ала – аланин; Арг – аргинин (для детей незаменимая); Асн – аспаргин; Асп – аспарагиновая кислота; Вал – валин (незаменимая); Гис – гистидин (для детей незаменимая);

Гли – глицин; Глн – глутамин; Глу – глутаминовая кислота; Иле – изолейцин (незаменимая); Лей – лейцин (незаменимая); Лиз – лизин (незаменимая); Мет – метионин (незаменимая); Про- пролин; Сер – серин; Тер – тирозин; Тре – треонин (незаменимая); Три – триптофан (незаменимая); Фен – фениланилин (незаменимая); Цис – цистеин; (-) – означает стоп-кодон, - положение, в котором рибосома прекращает считывание и-РНК и обрывает синтез полипептидной цепи. Кодон АУГ служит сигналом для начала синтеза полипептида.

Основание кодонов					
первое	второе	третье			
		У	Ц	А	Г
У	У	Фен	Фен	Лей	Лей
	Ц	Сер	Сер	Сер	Сер
	А	Тир	Тир	-	-
	Г	Цис	Цис	-	Три
Ц	У	Лей	Лей	Лей	Лей
	Ц	Про	Про	Про	Про
	А	Гис	Гис	Глн	Глн
	Г	Арг	Арг	Арг	Арг
А	У	Иле	Иле	Иле	Мет
	Ц	Тре	Тре	Тре	Тре
	А	Асн	Асн	Лиз	Лиз
	Г	Сер	Сер	Сер	Сер
Г	У	Вал	Вал	Вал	Вал
	Ц	Ала	Ала	Ала	Ала
	А	Асп	Асп	Глу	Глу
	Г	Гли	Гли	Гли	Гли

Таблица 11.15

Связь некоторых единиц

Длина

$$1 \text{ ангстрем (} \text{\AA} \text{)} = 10^{-10} \text{ м}$$

$$1 \text{ астрономическая единица длины (а.е.)} = 1,496 \cdot 10^{11} \text{ м}$$

$$1 \text{ световой год (св.год)} = 9,4605 \cdot 10^{15} \text{ м}$$

$$1 \text{ парсек (пк)} = 3,086 \cdot 10^{16} \text{ м}$$

1 морская миля = 1852 м

1 дюйм (Д) = 0,0254 м

Масса

1 карат (кар) = 0,2 г

1 атомная единица массы (а.е.м.) = $1,661 \cdot 10^{-27}$ кг

1 центнер (ц) = 100 кг

Скорость

1 километр в час (км/ч) = 0,277 м /с

1 узел = 1 морская миля в час = 0,514 м / с

Давление

1 бар (бар) = 10^5 Па

1 миллиметр ртутного столба (мм.рт.ст.) = 1 торр (Тор) = 133,3 Па

1 атмосфера физическая (атм) = $1,013 \cdot 10^5$ Па

Энергия

1 эрг (эрг) = 10^{-7} Дж

1 киловатт-час (кВт·ч) = $3,6 \cdot 10^6$ Дж

1 электрон-вольт (эВ) = $1,602 \cdot 10^{-19}$ Дж

1 калория международная (кал) = 4,1868 Дж

Магнитная индукция

1 Гаусс (Гс) = 10^{-4} Тл

Магнитный поток

1 максвелл (Мкс) = 10^{-8} Вб

Напряженность магнитного тока

1 эрстед (Э) = 79,6 А / м

Активность радиоактивного источника

1 кюри (Ки) = $3,7 \cdot 10^{10}$ Бк

Экспозиционная доза излучения

1 рентген (Р) = $2,58 \cdot 10^{-4}$ Кл /кг

Поглощенная доза ионизирующего излучения

1 рад (рад) = 0,01 Гр

Литература

1. Боголюбов А.Н. Электронная библиотека по физике. Справочник. 2010, fizika-class.narod.ru/ks.htm
2. Гусейханов М.К. Эволюция Вселенной , жизни и цивилизации. Электронная библиотека, 2010, nashol.com/.../kosmos-evoluciya-vselennoi-jizni-i-civilizacii-karl-sagan.html.
3. Заяц Р.Г., Гутвиловский В.Э., Давыдов В.В. Биология. Весь школьный курс в таблицах – Минск. «Юнипресс», 2010.
4. Карпенков С.Х. Концепции современного естествознания. Практикум: учебное пособие. -М.: Высшая школа, 2011.
5. Кухлинг Х. Справочник по физике / перевод с немецкого под ред. Е.М.Лейкина.- М.: Мир, 1985.
6. Ровинский Р.Е. Эволюция Вселенной. – М., ЮНИТИ, 1995.
7. Справочник по химии. Таблица Д.И.Менделеева .Электронная библиотека. 2011, www.chemport.ru/data/
8. Справочник по биологии. Электронная библиотека. 2011, www.cellbiol.ru/
9. Трофимова Т.И. Справочник по физике. – М.: Физматлит, 2004.